Z A B R

Zone Atelier Bassin du Rhône



Typologie de rivières en tresses du bassin RMC

Rapport de l'Année 1

Action n° 14 du Programme 2008 au titre de l'accord cadre Agence de l'Eau ZABR

Coordination : H. Piégay, B. Belletti, F. Liébault

RAPPEL DES OBJECTIFS :

Dans le cadre de la convention de recherche qui lie la ZABR (Zone Atelier Bassin du Rhône) et l'agence de l'eau RMC, une action a été initiée sur la gestion des rivières en tresses du SE de la France. L’objectif est de définir pour les années à venir des travaux de recherche interdisciplinaire permettant de mieux caractériser les rivières en tresses au niveau physique et écologique et proposer des actions de restauration fondées sur des bases plus solides. Ces travaux doivent servir à la fois à définir des priorités d’actions territoriales lors de la mise en œuvre de la DCE et à affiner les différentes mesures préconisées à l’échelle des schémas locaux pour la préservation ou la restauration écologique et la satisfaction des usagers en matière de sécurité et de disponibilité de la ressource en eau. Elle doit apporter des éléments de connaissance répondant aux orientations fondamentales suivantes : (OF2) concrétiser la mise en œuvre du principe de non dégradation des milieux aquatiques, (OF6) préserver et redévelopper les fonctionnalités naturelles des bassins et des milieux aquatiques, (OF8) gérer les risques d’inondations en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d’eau.

Dans ce contexte, un projet scientifique interdisciplinaire a été construit collectivement entre scientifiques et gestionnaires sur le thème de la caractérisation fonctionnelle des rivières en tresses. L’objectif général est d’établir une typologie biomorphologique des tresses du bassin du Rhône. C’est en effet dans ce bassin que se concentrent la plupart des rivières de ce type sur le territoire métropolitain (plus de 600 km recensés), voire même en Europe. Cette typologie est fondée sur l’analyse d’une cinquantaine de tronçons en tresses représentatifs des différentes hydroécorégions du bassin Rhône-Méditerranée (Slater, 2007), plusieurs d’entre eux seront ensuite sélectionnés pour faire l’objet d’analyses plus fines.

Les questions posées sont les suivantes : (1) existe-t-il des indicateurs simples permettant de replacer une tresse sur un gradient actif-déliquescent, de définir son état physique et d’identifier ainsi les principales actions à promouvoir en matière de sécurité publique et de gestion sédimentaire ? (2) quels sont les critères d’évaluation et les actions à préconiser pour préserver ou restaurer ces types fonctionnels ?

L’étude est programmée sur une période de 4 ans abordant successivement :

- les trajectoires géomorphologiques (sous la responsabilité du Cemagref Grenoble) ;
- la caractérisation des habitats (sous la responsabilité de l’UMR 5600 du CNRS et Université de Rennes) ;

- l’évaluation du potentiel écologique à partir de l’analyse des communautés d’invertébrés (sous la responsabilité de l’UMR 5023 du CNRS).

Le présent rapport restitue l’état d’avancement de l’année 1, présente les premières conclusions opérationnelles résultant notamment des travaux géomorphologiques conduits et de la caractérisation de l’habitat. Il dresse également l’inventaire des travaux prévus en année 2.

Liste des abréviations

FDV : fond de vallée

BV : bassin versant

Qj : débit journalier

F(Q) : fréquence du débit journalier

BA : bande active

BF : bande fluviale

Pttw : indice de tressage total

Ptfw : indice de tressage actif

MNT : modèle numérique de terrain

GFH : grandes forces hydrauliques

SOMMAIRE DU RAPPORT

CHAPITRE I - METHODE

PARTIE 1. RECENSEMENT DES RIVIERES EN TRESSES A PARTIR DE PHOTOGRAPHIES AERIENNES ET DE CARTES HISTORIQUES

Les rivières en tresses sont caractérisées par un patron multi-chenal inscrit dans une large zone active de sédiments alluviaux où parfois s'installent des îles plus ou moins végétalisées. Les rivières en tresses sont prédominantes en zones de piémont dans les régions tempérées où il y a une forte disponibilité des sédiments provenant de la zone amont (Tockner *et al.,* 2006). Elles sont dynamiques temporellement et spatialement ; ce trait distinctif implique une grande richesse d'habitats terrestres et aquatiques, eux-mêmes également dynamiques. On peut ainsi rencontrer une mosaïque d'habitats à différents stades d'évolution où les nombreux chenaux se connectent entre eux selon les conditions hydrologiques ou de morphologie locale. Ce dynamisme complique la compréhension des mécanismes de contrôle de l'évolution de la morphologie des rivières en tresses (Bertoldi et *al*., 2009).

Malgré leur raréfaction continue depuis la multiplication des infrastructures aux 19ème et 20ème siècles (Piégay et *al*., 2009), on dénombre encore dans le bassin RMC de nombreuses rivières en tresses (650 km). Ces secteurs sont localisés dans la zone alpine et périalpine du bassin du Rhône principalement dans le bassin de la Durance; on peut donc observer parmi nos tronçons une variabilité spatiale également élevée à l'échelle régionale.

Cinquante-cinq tronçons ont été sélectionnés (Figure 1.1) au sein du réseau RMC : ceux-ci couvrent une large gamme d'altitudes (de 75,3 m à 1787 m), de pente (de 2,5 à 52,5 m/km) et de surface drainée (de 36,7 à 12972 km²). Le régime hydrologique est variable aussi, comprenant des secteurs de haute montagne à fonctionnement glaciaire jusqu'aux rivières méditerranéennes des Alpes du Sud présentant des étiages sévères, voire des assecs.

La sélection des tronçons a dû satisfaire à plusieurs critères. Nous avons tout d'abord pris en compte l'étude de recensement faite par Piégay *et al*. (2009) et localisé tous les secteurs en tresses présents avant la période de construction des digues et des barrages des 19ème et 20ème siècles, ainsi que ceux encore actuellement en tresses, et ceux qui ont aujourd'hui disparu. Parmi tous ces tronçons, nous avons retenu des secteurs encore peu ou pas contrôlés par des aménagements anthropiques, et qui sont équi-répartis sur la zone concernée de manière à rendre compte de toutes les situations possibles au sein du réseau RMC en termes de fonctionnement hydro-morphologique. Enfin, 2 autres types morphologiques ont également été retenus afin de compléter l'échantillon : des tronçons en tresses disparus pour des causes inconnues (Piégay *et al.*, 2009) et d'autres, caractéristiques de hautes vallées et identifiés à partir d'une reconnaissance réalisée sur le géoportail de l'IGN (http://www.geoportail.fr/index.do).

La longueur des tronçons a été fixée à 20 fois la largeur de la bande active (Slater, 2007), celle-ci étant définie comme la zone occupée par les chenaux en eau et les bancs de galets non-végétalisés (Figure 3.5, p. 25).

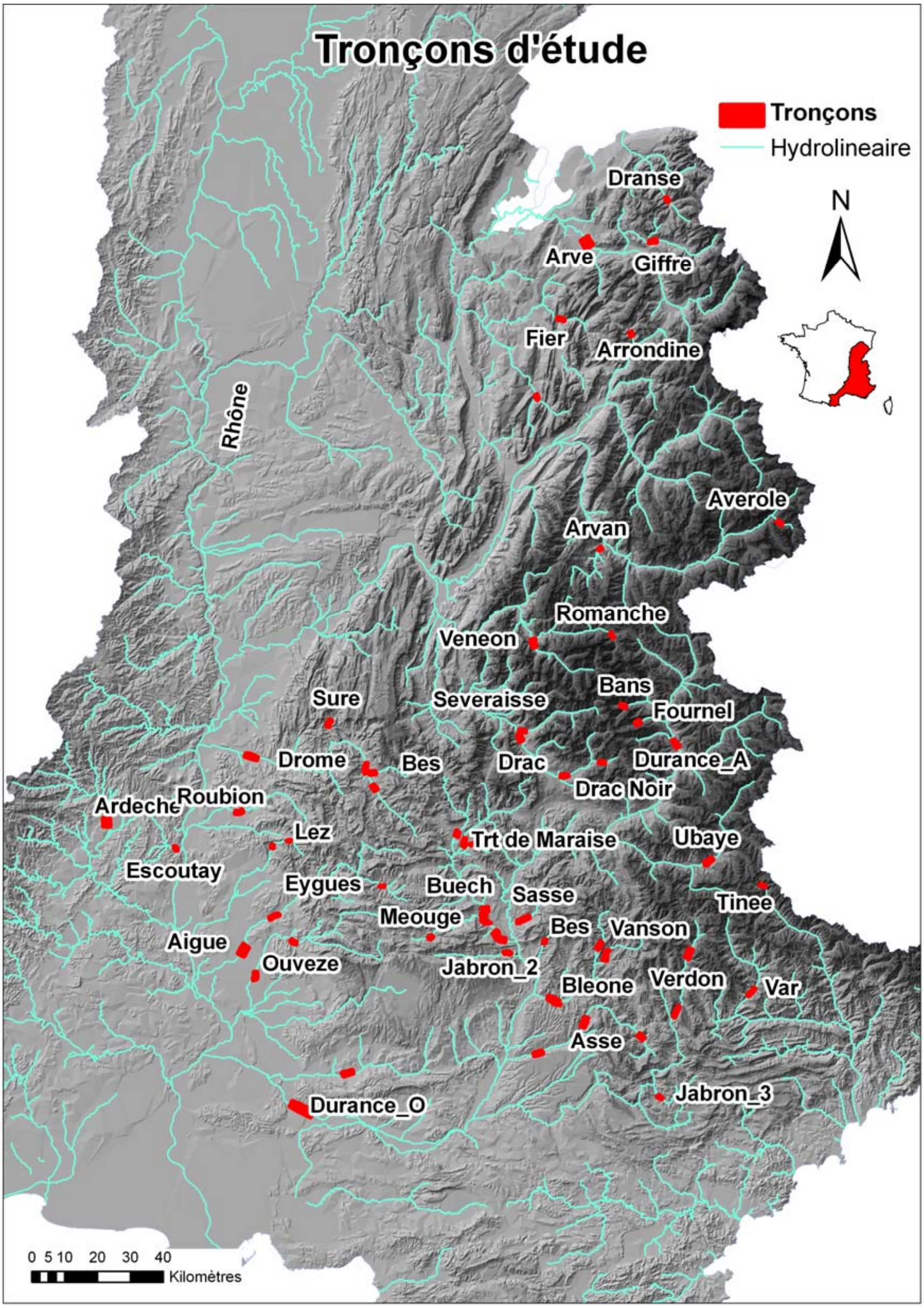


Figure 1.1. Localisation des tronçons d'étude.

PARTIE 2. REGIME SEDIMENTAIRE ET MORPHOLOGIE DES RIVIERES EN TRESSES ALPINES ET MEDITERRANEENNES

Rédacteurs : F. Liebault, M. Cassel, H. Jantzi, S. Tacon, N. Talaska

Le Cemagref de Grenoble pilote le volet « trajectoires géomorphologiques » du projet, dont l'essentiel des actions est programmé la première année. Les résultats obtenus permettent de fournir un contexte physique sur lequel devrait s'appuyer le volet « potentiel écologique » qui a véritablement démarré cet automne et dont les premiers résultats seront véritablement présentés en deuxième année.

A . ETAT DE L'ART ET OBJECTIFS

Les tresses sont des formes fluviales très dynamiques caractérisées par la multiplicité des chenaux et la présence de bancs actifs qui assurent le stockage temporaire de la charge sédimentaire en transit. Toujours associées à de forts apports solides, elles sont particulièrement fréquentes dans les milieux de montagne où elles assurent une fonction importante de régulation du transport solide par charriage. On les trouve notamment dans les environnements proglaciaires, sur les cônes de déjections, dans les vallées intramontagnardes et les zones de piémont.

D'un point de vue physique, les morphologies en tresses sont des systèmes naturels fascinants qui méritent d'être étudiés à plusieurs titres : (1) leur caractère très dynamique offre un cadre de premier choix pour étudier les interactions entre la morphologie des lits sédimentaires et les contraintes hydrauliques ; (2) style fluvial associé à un transport solide intense, les tresses constituent un élément essentiel de la cascade sédimentaire dans les zones de montagne ; (3) le caractère instable des lits en tresses peut être à l'origine de situations à risques pour les populations des zones de montagne et de piémont.

Les travaux de géomorphologie historique conduits dans le SE de la France montrent de façon très nette une tendance à la disparition du tressage dans les vallées alpines depuis la fin du 19e siècle (Bravard and Peiry, 1993; Liébault et al., 2008). Ce constat amène à se poser la question du caractère relictuel du tressage, qui ne serait plus en équilibre avec les conditions environnementales actuelles. L'artificialisation des plaines alluviales (endiguements, extractions de graviers, barrages) ainsi que le tarissement des apports solides des versants sous l'effet du reboisement et du réchauffement climatique post-PAG contribuent à expliquer la déliquescence progressive du tressage au cours du 20e siècle. Malgré cette tendance générale, une grande diversité de situation existe dans le bassin du Rhône, depuis les tronçons où le tressage a entièrement disparu et a été remplacé par un lit à chenal unique, ceux où il se maintient sous une forme dégradée et ceux, peu nombreux, caractérisés par un tressage encore très actif.

Bien que la mécanique du tressage ait fait l'objet de nombreux travaux à la fois théoriques et expérimentaux, beaucoup de zones d'ombre subsistent sur la dynamique géomorphologique des tresses et ses relations avec les principaux paramètres de contrôle que sont les flux solides, la

capacité de transport (fonction de la pente et du débit liquide) et la végétation riveraine. L'intensification du tressage sous l'effet d'apports solides intenses est aujourd'hui clairement établie grâce notamment aux analyses historiques des réponses fluviales (Church, 1983; Liébault et al., 2005; Madej and Ozaki, 1996). Les approches expérimentales ont également permis de montrer que l'exhaussement des tresses est associée à la multiplication des anabranches et à l'accrétion des bancs alors que la dégradation s'accompagne d'une simplification du tressage et du perchement des bancs (Germanoski and Schumm, 1993; Hoey and Sutherland, 1991). En revanche, le lien entre l'intensité du tressage et le transport solide par charriage est loin d'être évident, certains auteurs montrant une corrélation positive (Nicholas, 2000) et d'autres l'inverse (Ashmore, 1988). Ceci rend difficile l'interprétation fonctionnelle du tressage, perçu comme le résultat d'une charge sédimentaire en excès par rapport à la capacité de transport du lit ou comme une morphologie optimisée pour véhiculer de fortes charges sédimentaires imposées par l'amont. Ces deux visions s'opposent car dans le premier cas, la tresse ne peut perdurer que si le régime sédimentaire reste excédentaire alors que dans le deuxième cas, le tressage est considéré comme une forme d'équilibre dynamique. Les tresses du SE de la France offrent un cadre exceptionnel pour aborder ces questions du fait de la diversité morphologique des lits en tresses qui caractérise la région et de l'abondance des sources historiques disponibles pour caractériser les régimes morphologiques (archives topographiques, photographies aériennes).

L'objectif de cette partie est de caractériser et d'analyser le régime sédimentaire des tresses alpines et méditerranéennes du bassin Rhône-Méditerranée à l'échelle du siècle à partir de l'étude des changements morphologiques et des forçages en jeu. Nous pensons en effet que le régime sédimentaire est un élément décisif en matière de prédiction des trajectoires morphologiques du tressage. Trois types de situations peuvent être rencontrés : régime en équilibre (lit stable), régime déficitaire (lit incisé) et régime excédentaire (lit exhaussé). Nous suspectons que la généralisation des situations déficitaires est un élément explicatif majeur de la disparition progressive du tressage dans le bassin Rhône-Méditerranée. Les objectifs poursuivis sont les suivants : (1) fournir des éléments objectifs permettant de déterminer pour chaque tronçon (n~30) dans quelle situation il se trouve à l'échelle des dernières décennies (équilibre, excédent, déficit) ; (2) mettre en relation le régime sédimentaire avec la morphométrie des bandes de tressage ; (3) coupler les types de régimes sédimentaires avec les apports et prélèvements sédimentaires du bassin versant.

B . EVOLUTION DU PROFIL EN LONG

L'objectif est de caractériser le régime sédimentaire des tresses du bassin Rhône-Méditerranée sur un pas de temps séculaire à partir de l'étude diachronique du profil en long. Cette analyse repose sur 32 sites parmi les 55 initialement pré-sélectionnés (Figure 2.1, Tableau 2.1). Il s'agit également d'interpréter la variabilité des régimes sédimentaires à la lumière des forçages ayant influencé le bilan sédimentaire des tresses (prélèvements et sources sédimentaires). Enfin, l'analyse morphométrique du profil en long permet de proposer un indicateur morphométrique 2D du régime sédimentaire.

1 . Analyse diachronique du profil en long

Tous les sites sélectionnés n'ont pas été intégrés car certains sites ne disposent pas d'ancien levé et d'autres présentent des conditions jugées défavorables pour l'acquisition topographique terrestre (absence ou inaccessibilité des repères de nivellement de l'IGN). L'analyse repose sur la superposition de profils en long mesurés à 2 dates différentes.

Nous avons utilisé le profil en long des Grandes Forces Hydrauliques (GFH) datant de la fin du 19e et du début du 20e siècle pour caractériser l'altitude des tresses au temps T0 (http://geodesie.ign.fr/PR/profils_rivieres.htm). Le temps T+1 a été renseigné par des acquisitions topographiques propres à cette étude, réalisées entre mai et août 2009 (Tableau 2.1). Deux sites font exceptions : la Durance et la Drôme de Recoubeau (Drôme_dis) où nous avons pu exploiter des levés acquis dans le cadre d'études précédentes.

Les acquisitions topographiques ont été réalisées principalement par nivellement (26/32) et accessoirement à la station totale (3/32) et au DGPS (2/32) lorsque les repères de nivellement étaient difficilement accessibles. Au global, 129 km ont été levés dont 120 km de tresses. Les cheminements topographiques ont été généralement calés sur 2 repères de nivellement de l'IGN de façon à calculer l'erreur altimétrique globale du profil (Tableau 2.1). Les levés ont été réalisés en conditions de basses eaux et les points de mesure ont été positionnés sur la ligne d'eau.

Les distances des profils GFH ont été rectifiées en utilisant des points de calage communs avec le levé récent à partir de la formule suivante :

$$D_{ij_{t0\bullet}} = D_{ij_{t0}} + D_{ij_{t0}} \left(\frac{D_{c_{t1}} - D_{c_{t0}}}{D_{c_{t1}}} \right) \qquad (1)$$

Avec $D_{ij_{t0\bullet}}$, la distance rectifiée entre les points i et j du profil GFH, $D_{ij_{t0}}$ la distance entre les points i et j du profil GFH, $D_{c_{t1}}$ la distance entre les points de contrôle du profil actuel, $D_{c_{t0}}$ la distance entre les points de contrôle du profil GFH.

Les profils ont ensuite été superposés et segmentés en une cinquantaine de points équidistants (Figure 2.2). Après interpolation linéaire des altitudes de chaque point, la variation altitudinale entre

les deux profils a été calculée (1755 valeurs). Le seuil de détection de l'incision et de l'exhaussement a été fixé à 50 cm. Il intègre le D90 de l'erreur altimétrique (18 cm) auquel il faut rajouter les fluctuations d'altitudes liées à la variabilité hydrologique et au recalage des distances. Ces deux dernières composantes de l'incertitude ne peuvent être quantifiées mais seulement évaluées de manière experte à quelques dizaines de centimètres.

Cette analyse permet de capturer le changement altitudinal et de déterminer le régime sédimentaire de la tresse. Les tresses en exhaussement (ou aggradation) témoignent d'un régime excédentaire alors que les tresses en incision (ou dégradation) ont un régime déficitaire.

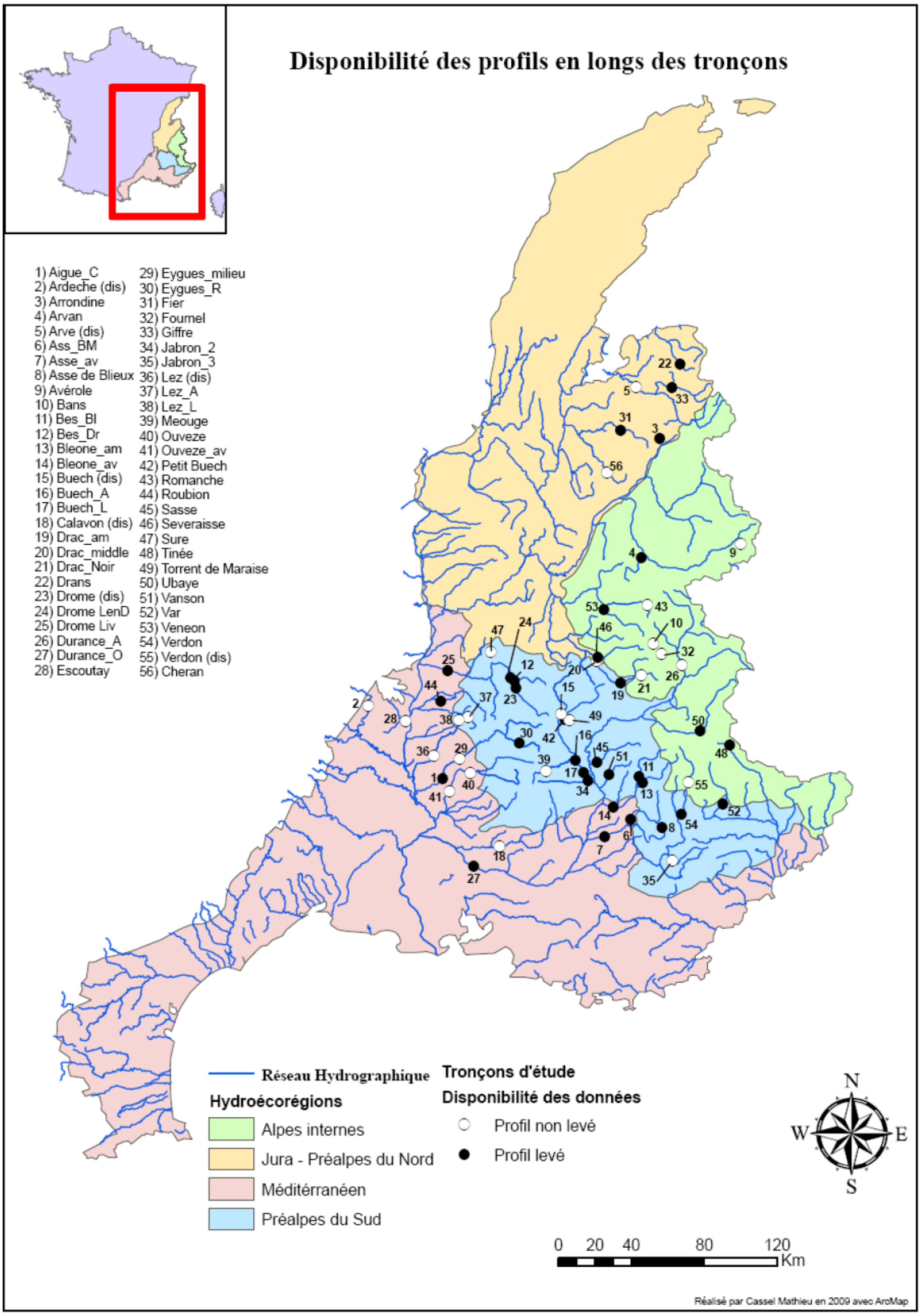


Figure 2.1. Localisation des 55 sites initialement retenus dans le projet et des 32 sites ayant fait l'objet d'une analyse du profil en long.

Tableau 2.1. Récapitulatif des différents tronçons levés (SMAVD : Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance)

SITES	DATE	OPERATEURS	LINEAIRE (m)	LINEAIRE_TRESSES (m)	TYPE	ERREUR/IGN(m)
AIGUES_C	18/06/2009	Cemagref	6122	6122	nivellement	0.015
ARRONDINE	28/05/2009	Cemagref	1657	1117	nivellement	0.116
ARVAN	03/08/2009	Cemagref	2720	1182	nivellement	0.045
ASSE_AV	03/06/2009	Cemagref	3477	3477	nivellement	0.019
ASSE_BLIEUX	05/06/2009	Cemagref	2874	2583	nivellement	0.160
ASSE_BM	04/06/2009	Cemagref	4416	4416	nivellement	0.150
BES_BLEONE	06/07/2009	Cemagref	4110	4110	nivellement	0.052
BEZ_DROME	05/05/2009	Cemagref	4234	3869	nivellement	0.156
BLEONE_AM	07/07/2009	Cemagref	5990	5990	nivellement	
BLEONE_AV	08/07/2009	Cemagref	4553	4553	nivellement	0.007
BUECH_A et L	18/08/2009	Cemagref, CNRS	16863	16863	dGPS	
DRAC_AM	10/08/2009	Cemagref	3229	2673	nivellement	0.045
DRANSE_MORZINE	24/06/2009	Cemagref	1833	1196	nivellement	
DROME_dis	23/05/2005	CNRS	5683	3865	nivellement	0.220
DROME_LenD	19/05/2009	Cemagref	3610	3360	nivellement	0.182
DROME_LIVRON	15/07/2009	Cemagref	4883	4883	nivellement	0.076
DURANCE_O	13-14/08/2008	SMAVD	12140	12140	dGPS	
EYGUES_R	18/06/2009	Cemagref	2473	2473	nivellement	0.066
FIER	29/07/2009	Cemagref	3714	3714	nivellement	0.021
GIFFRE	28/07/2009	Cemagref	2934	2668	nivellement	0.026
JABRON_2	11/06/2009	Cemagref	2871	2871	nivellement	0.066
PETIT _BUECH	06/05/2009	Cemagref	3280	3280	nivellement	0.219
ROUBION	16/07/2009	Cemagref	1438	1438	nivellement	0.067
SASSE	10/06/2009	Cemagref	4409	3913	nivellement	0.108
SEVERAISSE	04/08/2009	Cemagref	3247	2342	nivellement	0.040
TINEE	20/07/2009	Cemagref	1479	1479	tachéométrie	
UBAYE	11/08/2009	Cemagref	3771	3771	nivellement	0.014
VANSON	09/06/2009	Cemagref	2263	2263	nivellement	0.026
VAR	21/07/2009	Cemagref	3477	3477	tachéométrie	
VENEON	05/08/2009	Cemagref	3185	2045	nivellement	0.015
VERDON	22/07/2009	Cemagref	2052	2052	tachéométrie	
		TOTAL (m)	128987	120185		

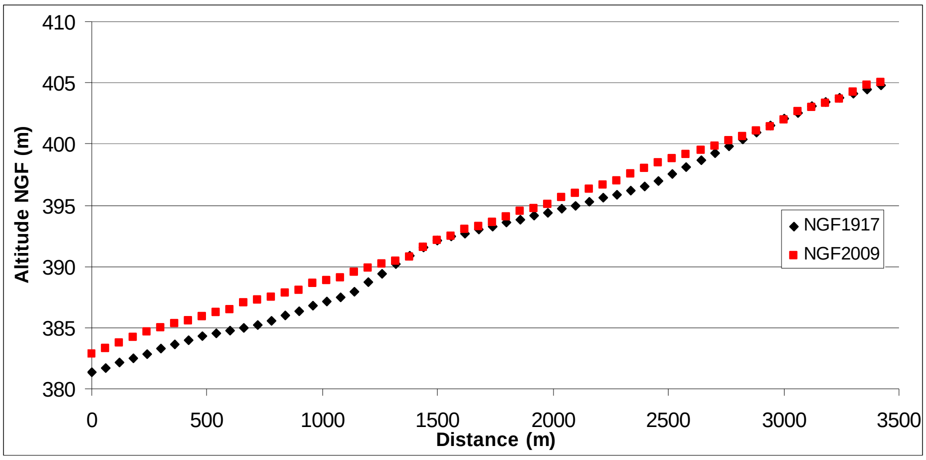


Figure 2.2. Exemple de superposition du profil en long des GFH et du profil récent pour l'Asse aval.

2 . Forçages sédimentaires

Le régime sédimentaire des tresses est conditionné par les apports et prélèvements de graviers. Ceux-ci ont été évalués qualitativement à partir des orthophotographies aériennes récentes.

Caractérisation des sources sédimentaires

Deux grands types de sources sédimentaires alimentent les tresses en graviers : (1) les sapements de berges qui remobilisent des stocks alluvionnaires (terrasses, plaine alluviale) ; (2) le transport solide des torrents sous forme de charriage ou de lave torrentielle. L'identification des apports sédimentaires s'est appuyée sur l'analyse d'orthophotographies récentes sur SIG. Une cartographie systématique des sources sédimentaires a été réalisée sur un linéaire comprenant le tronçon d'étude auquel nous avons rajouté un linéaire de 10 km en amont de façon à prendre en compte les apports susceptibles d'avoir influencé l'évolution du profil sur les 20 dernières années, en considérant une vitesse de propagation de la charge grossière de quelques centaines de mètres par an (Liébault and Clément, 2007). Ceci permet de caractériser le potentiel de restauration sédimentaire du cours d'eau depuis l'arrêt théorique des extractions de graviers (loi sur l'eau de 1992).

L'ensemble des confluences torrentielles ont été cartographiées et caractérisées selon deux critères: (1) visibilité de la bande active du torrent selon 3 modalités (non visible – visible de manière discontinue – visible de manière continue) ; (2) impact des apports du torrent sur la morphologie du cours d'eau récepteur à l'aval de la confluence (présence d'un cône de déjection, élargissement de la bande active en aval de la confluence) (Figure 2.3). Cette analyse à permis de recenser 414 sources torrentielles caractérisées par l'importance de leur contribution sédimentaire. Sur ces 414 sources, 61 ont été reconnues comme des sources sédimentaires majeures (présence d'impact sur le cours principal).



Figure 2.3. Confluent torrentiel avec impact fort sur le cours d'eau principal ; à l'aval des apports sédimentaires du Salso Moreno, la bande active de la Tinée présente un fort élargissement

Le linéaire des berges a été systématiquement digitalisé sur l'ensemble des sites à partir des orthophotographies récentes (Figure 2.4). Les berges sont différenciées selon deux modalités (berges érodables et berges stables). Sont considérés comme stables les berges protégées par des aménagements (digues, enrochements) ou en contact direct avec les versants. Les aménagements ne sont pas toujours clairement identifiables. Dans ces cas, ils sont considérés comme probables lorsque des infrastructures (routes, bâtiments) se situent à proximité immédiate de la bande de tressage. Le linéaire de berge ne répondant pas aux critères de stabilité est considéré comme érodable. Le ratio du linéaire de berge érodable sur l'ensemble du linéaire de berge du tronçon étudié fournit un degré d'érodabilité et donc une estimation quantitative indirecte de la recharge sédimentaire par érosion latérale. Cette analyse a porté sur un linéaire de 825 km. 51% du linéaire digitalisé est constitué de berges érodables.

Caractérisation des prélèvements sédimentaires

Les principaux sites d'extractions actuels et passés ont été cartographiés sur le tronçon d'étude et sur un linéaire de 10 km de part et d'autre du tronçon (Figure 2.4). Nous avons retenu comme site d'extraction les gravières en activité dans la plaine alluviale et les anciennes traces d'activité minière majeure visibles sur les orthophotographies récentes. Le nombre de sites par tronçons fournit une information qualitative sur l'importance des prélèvements sédimentaires. Cette analyse a permis de localiser 79 sites d'extractions.

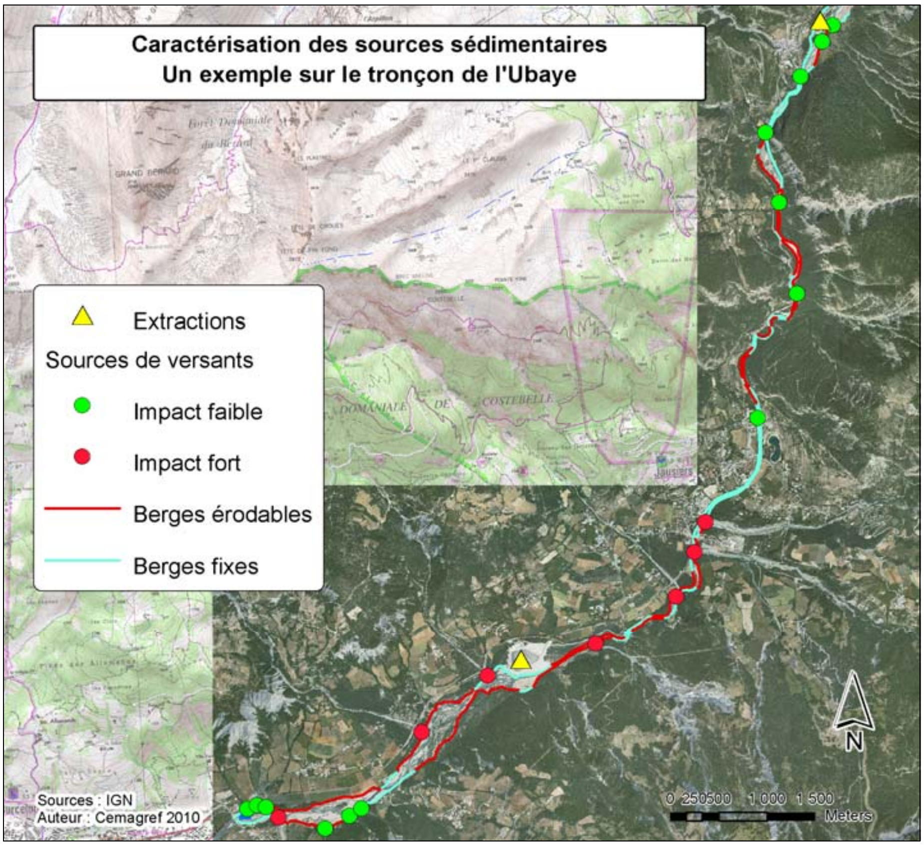


Figure 2.4. Exemple d'inventaire cartographique des sources et prélèvements de sédiments sur le site de l'Ubaye

3 . Analyse morphométrique 2D

Une analyse morphométrique du profil en long récent a été conduite afin d'évaluer l'influence du régime sédimentaire (aggradation vs. dégradation) sur la forme générale du profil caractérisé sur une distance équivalente à ~20 fois la largeur de la bande de tressage. Les profils ont été normés (formules 2 et 3) et un indice de forme (F) a été calculé pour chaque point (formule 4) :

$$D_i^* = \frac{D_i}{D_n - D_i} \quad (2)$$

$$Z_i^* = \frac{Z_i}{Z_n - Z_i} \quad (3)$$

$$F = Z_i^* - D_i^* \quad (4)$$

Avec Zi*, l'altitude normée du point i, Zi, l'altitude du point i et Zn, l'altitude maximale du profil, Di*, la distance normée du point i, Di, la distance du point i et Dn la distance maximale du profil.

Lorsque F est négatif, le segment est concave et lorsque F est positif, le segment est convexe. La variabilité de F en fonction de l'évolution altitudinale a ensuite été analysée à partir d'un test statistique.

C . MORPHOLOGIE DES BANDES DE TRESSAGE

L'étude du profil en long permet de distinguer les tresses incisées, exhaussées et stables à l'échelle du siècle. L'objectif de l'analyse morphologique des bandes de tressage est d'étudier les caractéristiques morphométriques de ces différents groupes afin d'aboutir à des indicateurs simples permettant de replacer une tresse sur un gradient actif-déliquescent. Elle repose sur la réalisation de profils en travers et de prélèvements granulométriques de surface.

1 . Transects topographiques

D'après les résultats de l'analyse diachronique du profil en long, les tronçons ont été redécoupés selon leur régime sédimentaire. Pour chaque sous-tronçon, des profils en travers de la bande de tressage ont été réalisés. Pour les sous-tronçons en exhaussement, les profils ont été décuplés afin d'obtenir une répartition équilibrée entre les transects en incision et en exhaussement. Sur le terrain, le transect est choisi selon sa représentativité du sous-tronçon et de préférence sur le secteur où la bande de tressage présente la plus forte diversité d'unité (bancs, chenaux). Les morphologies particulières sont exclues, de même que les sites perturbés par des aménagements ou interventions anthropiques.

Pour la réalisation des levés topographiques, le matériel utilisé est le niveau de chantier (46 sites sur 48) ou le tachéomètre (2/48). Les points ont été positionnés à chaque rupture de pente et d'unité. Les types d'unité sont décrits (terrasse, chenal principal, banc, …). Les bancs sont décrits selon leur degré de végétalisation avec les classes suivantes : 0 % ;]0-25 %] ;]25-50 %] ;]50-75 %] ;]75-100 %[; 100 %. Pour les terrasses, l'épaisseur de limon est notée (Figure 2.5).

Les données acquises sur le terrain ont permis de calculer différentes variables (Tableau 2.2). Les différentes unités ont été caractérisées par leur altitude moyenne et leur largeur. La bande active a été caractérisée par sa largeur à pleins bords. Au vu de la complexité géométrique des rivières en tresses, les profondeurs moyennes et maximales n'ont pu être calculées que sur une bande active élargie, incluant les bancs peu végétalisés (0-25%). Des indices de rugosité altitudinale (Bed Relief Index) ont été calculés en utilisant les formules de Smith (1970) et Hoey and Sutherland (1991) (Tableau 2.2). Le BRI de Smith (Formule 5) exprime la somme des changements altitudinaux le long du profil en travers rapportée à la longueur du profil. Celui de Hoey et Sutherland (Formule 6) mesure la déviation standard du profil en travers par rapport à l'élévation moyenne du lit. Des analyses statistiques bivariées ont été réalisées à partir de ces variables et celles de l'analyse granulométrique.

$$BRI(Smith) = \frac{2[(Z_1 + ...Z_n) - (z_1 + ...z_n)] \pm z_{e1}, z_{e2}}{L} 100 \qquad (5)$$

avec (Z1+…Zn), la somme des altitudes des points hauts du transect, (z1+…zn), la somme des altitudes des points bas du transect, L, la longueur de la ligne de mesure et ze1 et ze2, l'altitude des 2 points d'extrêmité de la ligne de mesure.

$$BRI(Hoey) = \left(\sum_{i=1}^{n-1} \left[(z_i^2 + z_{i+1}^2)/2 \right]^{0.5} \left[x_{i+1} - x_i \right] \right) \Big/ (x_n - x_1) \quad (6)$$

avec z_i, la différence entre l'altitude du point i et l'altitude moyenne du transect et xi, la distance du point i.

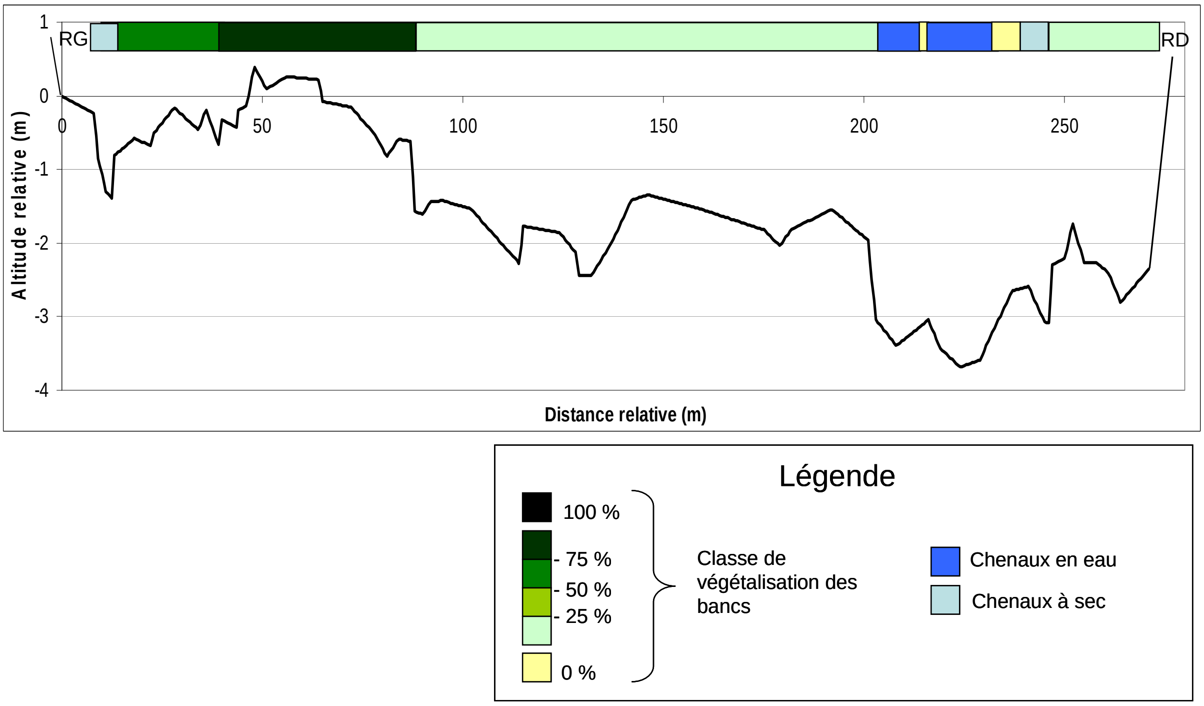


Figure 2.5. Exemple d'identification des unités pour le profil en travers Var_T1.

Tableau 2.2. Liste et description des variables calculées sur chaque transect.

Variables	Symboles	Unités
Surface drainée	A	km²
Pente du lit	s	m/m
Largeur du fond de vallée (remplissage alluvial)	W_f	m
Largeur de la bande naturelle (bande active + végétation riveraine)	W_n	m
Largeur du transect	W_t	m
Largeur de la bande active (chenaux en eau, chenaux secs et bancs non végétalisés)	W_a	m
Largeur de la bande semi-active (bande active + bancs végétalisés entre 0 et 25%)	W_b	m
Evolution altitudinale séculaire (déterminée à partir du profil GFH)	ΔZ	m
Largeur cumulée des chenaux en eau	w_c	m
Largeur cumulée des chenaux à sec	w_{cs}	m
Largeur cumulée des bancs non végétalisés	w_{b0}	m
Largeur cumulée des bancs végétalisés (entre 0 et 25%)	w_{b0-25}	m
Largeur cumulée des bancs végétalisés (entre 25 et 50%)	w_{b25-50}	m
Largeur cumulée des bancs végétalisés (entre 50 et 75%)	w_{b50-75}	m
Largeur cumulée des bancs végétalisés (entre 75 et 100%)	$w_{b75-100}$	m
Largeur cumulée des bancs végétalisés (100%)	w_{b100}	m
Largeur de la bande active normalisée (W_a / W_n)	W^*	
Profondeur moyenne de la bande active	d_b	m
Profondeur maximale de la bande active	d_{max}	m
Dénivellation maximale de la bande semi-active	H_{max}	m
Altitude moyenne des chenaux en eau	Z_c	m
Altitude moyenne des chenaux à sec	Z_{cs}	m
Altitude moyenne des bancs non végétalisés	Z_{b0}	m
Altitude moyenne des bancs végétalisés (entre 0 et 25%)	Z_{b0-25}	m
Altitude moyenne des bancs végétalisés (entre 25 et 50%)	Z_{b25-50}	m
Altitude moyenne des bancs végétalisés (entre 50 et 75%)	Z_{b50-75}	m
Altitude moyenne des bancs végétalisés (entre 75 et 100%)	$Z_{b75-100}$	m
Altitude moyenne des bancs végétalisés (100%)	Z_{b100}	m
Altitude moyenne de la haute terrasse	Z_{t1}	m
Altitude moyenne de la basse terrasse	Z_{t2}	m
Altitude moyenne de la bande active	Z_a	m
Altitude moyenne de la bande semi-active	Z_b	m
Dénivellation entre la bande active et les chenaux en eau (Z_a-Z_c)	H_{ba}	m
Ratio largeur/profondeur (W_b/d_b)	*wdr*	
Bed Relief Index de Smith (équation 5)	*BRI (Smith)*	
Bed Relief Index de Hoey et Sutherland (équation 6)	*BRI (Hoey)*	

2 . Echantillons granulométrique

Pour affiner la caractérisation morphologique des sites, nous avons prélevé des échantillons granulométriques de surface. Compte tenu du grand nombre de transects à échantillonner dans un temps restreint, nous avons utilisé le logiciel Digital Gravelometer (DG) conçu pour le traitement automatisé d'échantillons granulométriques de surface à partir de photographies numériques (Graham et al., 2005a; Graham et al., 2005b; Graham et al., 2010). La rapidité de mise en œuvre de cette méthode sur le terrain a permis de collecter 245 échantillons.

Le protocole de terrain pour la prise des photographies reprend les préconisations du mode d'emploi de DG. Nous avons utilisé un cadre rectangulaire de 550 x 360 mm afin d'échantillonner toujours la même surface (Figure 2.6. Echantillonnage granulométrique in situ et traitement automatique de l'image par Digital Gravelometer ; le cadre posé au sol délimite la surface à photographier ; la photographie est ensuite géoréférencée dans DG à l'issue de plusieurs étapes, le logiciel délimite le contour de chaque particule avant de les mesurer et de calculer une distribution granulométrique.). Les photographies ont été prises avec un appareil numérique réflex Pentax, en utilisant le flash, une distance focale moyenne pour éviter les déformations de l'image, et une résolution de 6 megapixels.

Avant la prise de vue, la surface délimitée par le cadre est nettoyée si nécessaire (enlèvement des feuilles et brindilles qui masquent les particules). La prise de vue est faite à la verticale du sol et la surface échantillonnée est ombragée à l'aide d'un parasol pour éviter les ombres portées des particules.

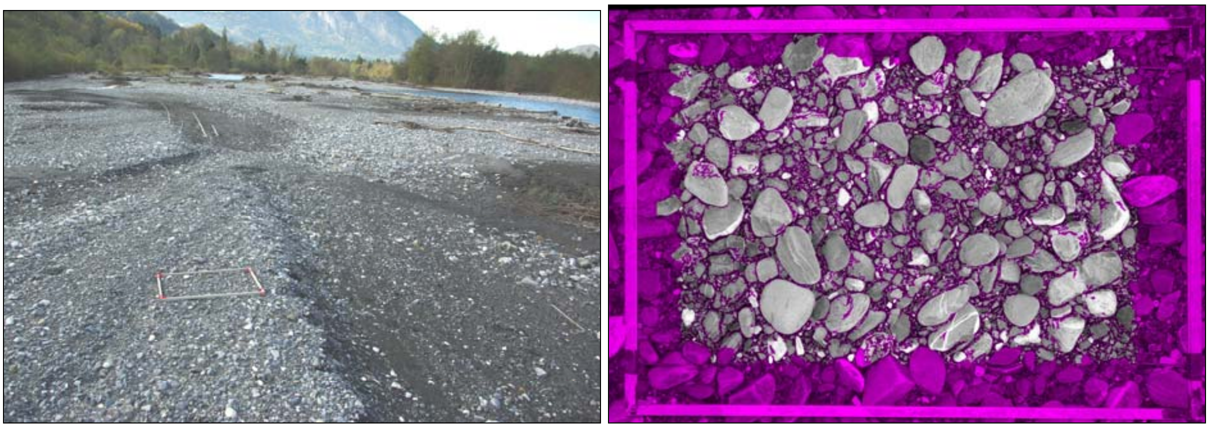


Figure 2.6. Echantillonnage granulométrique in situ et traitement automatique de l'image par Digital Gravelometer ; le cadre posé au sol délimite la surface à photographier ; la photographie est ensuite géoréférencée dans DG à l'issue de plusieurs étapes, le logiciel délimite le contour de chaque particule avant de les mesurer et de calculer une distribution granulométrique.

Dans la mesure du possible, chaque unité morphologique traversée par le transect a fait l'objet d'un échantillonnage représentatif de la granulométrie dominante. Tous les échantillons granulométriques d'un transect ont ensuite été agglomérés et pondérés selon l'importance de l'unité échantillonnée. Nous disposons de 45 granulométries composites représentant les caractéristiques granulométriques des transects. Nous avons également affiné les résultats en générant des granulométries composites pour les différents espaces de la bande alluviale (transect entier, bande active élargie, bande active stricte).

Le traitement des images par le logiciel s'est révélé peu satisfaisant pour 80% des échantillons. Les erreurs liées au mauvais traitement des images induisent une sous-estimation de la taille réelle des particules du fait de la sur-segmentation des particules grossières. Les résultats ont donc été corrigés à l'aide d'un modèle statistique. Les distributions granulométriques de 10 images présentant un traitement non satisfaisant à partir de l'analyse automatique sur DG ont été comparées avec une méthode manuelle. Les deux méthodes de calculs sont comparables. Les résultats de la méthode manuelle servent de référence. Le nuage de point (Figure 2.7. Modèle de correction des distributions granulométriques par comparaison des résultats obtenus par l'analyse manuelle (référence) et le traitement automatique.) illustre les écarts de résultats entre les deux méthodes. Pour les petits percentiles les écarts sont faibles (les points sont très proches de la droite d'égalité) alors que sur les gros percentiles les écarts sont importants. Les écarts montrent que DG sous-estime la taille des particules par rapport à la méthode manuelle. La droite d'ajustement du nuage de point donne une très bonne corrélation entre les deux méthodes (R^2 proche de 1). L'équation de cette droite est utilisée pour corriger les résultats de l'analyse automatique sur les photos présentant un traitement non satisfaisant.

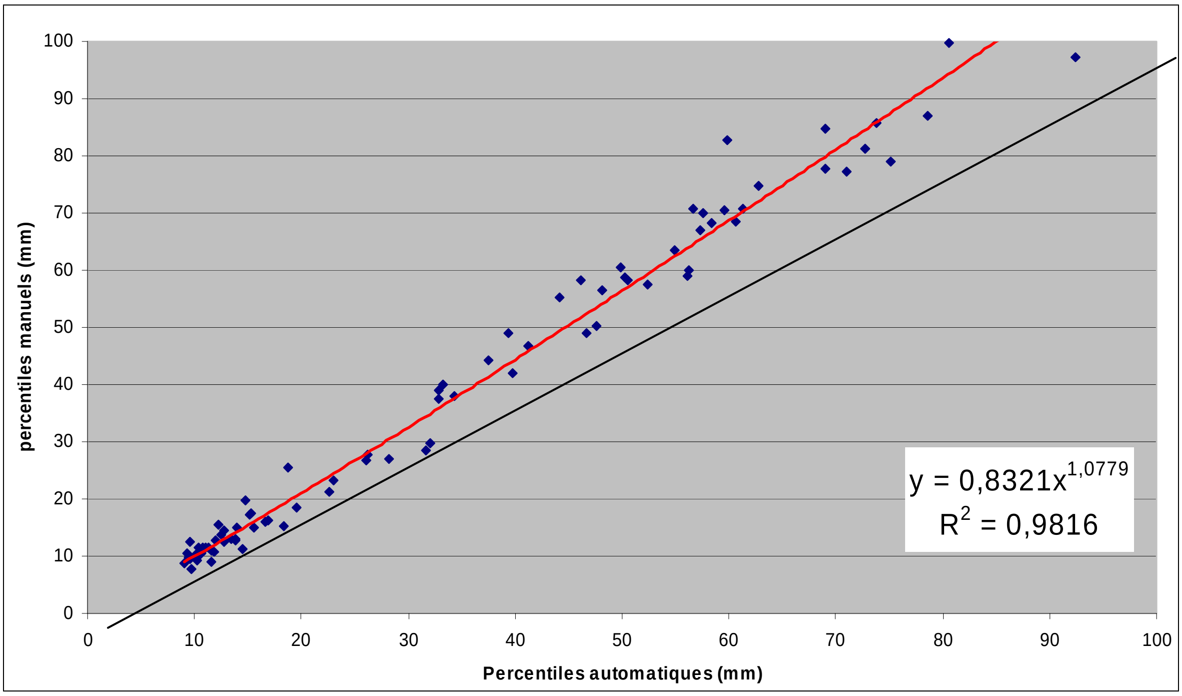


Figure 2.7. Modèle de correction des distributions granulométriques par comparaison des résultats obtenus par l'analyse manuelle (référence) et le traitement automatique.

PARTIE 3. CARACTERISATION DU CORRIDOR FLUVIAL

Rédacteurs : B. Belletti, A. Hervouet, S. Dufour, H. Piégay

A . OBJECTIFS

Cette partie a pour objectif de faire le lien entre la première partie (trajectoire séculaire) et la 3ème partie (communautés) en abordant la caractérisation de l'habitat à différentes échelles, celle du corridor fluvial et celle de l'habitat aquatique, afin d'identifier une typologie de rivières en tresses sur l'ensemble du bassin RMC.

En ce qui concerne la première année, l'objectif était la caractérisation des structures paysagères (habitats riverains et aquatiques) à partir d'orthophotographies aériennes et de la dynamique à grande échelle temporelle (50 ans) des secteurs en tresses sur la base d'une comparaison entre les images récentes et des photographies aériennes en noir et blanc des années 50.

La distinction d'une typologie à l'échelle régionale doit passer par la compréhension approfondie des structures paysagères et de la dynamique de ces structures. Pour cela il faut analyser les indicateurs généralement utilisés dans l'analyse des rivières en tresses (largeur de la bande active, indice de tressage, etc.) et connaître les liens avec les paramètres de contrôle. Elle doit donc être basée sur l'étude de plusieurs éléments :

- La structure de la bande active ;
- L'organisation des habitats aquatiques ;
- La dynamique de colonisation de la bande active ;
- La structure du corridor fluvial (et son évolution sur 50 ans) [les résultats de cette partie seront présentés en année 2].

Les données brutes utilisées dans cette étude proviennent de différents supports.

- Pour la caractérisation de la structure paysagère, nous avons utilisé les orthophotographies aériennes récentes et les photos aériennes en noir et blanc des années 1950 qui proviennent de l'IGN (BDOrtho pour la première).
- Pour la caractérisation géographique des tronçons (position, altitude, pente...), nous avons utilisé la BD Carthage et les données du réseau piscicole Valcon (Pont & Rogers, 2004).
- Des données SIG complémentaires proviennent d'études précédentes réalisées au sein l'UMR 5600, comme par exemple le fond de vallée déterminé par Alber et Piégay (2008).
- En ce qui concerne les données hydrologiques, nous avons exploité les données provenant du réseau de la « Banque Hydro » (http://www.hydro.eaufrance.fr/).

Les stations hydrologiques (Annexe II) ont été sélectionnées sur la base de leur proximité aux tronçons d'étude et en fonction de la disponibilité des données. Lorsqu'il était impossible de repérer une station proche des tronçons d'étude ou que la station ne présentait pas de données disponibles,

nous avons utilisé des stations d'autres bassins versants spatialement proches et ayant ainsi des propriétés comparables en terme de fréquences de débits classés. Les stations considérées comme « fiables » sont finalement au nombre de 33, les stations « incertaines » de 11, onze autres secteurs restant « problématiques » en terme de caractérisation hydrologique. La rivière Escoutay, localisée en rive droite du Rhône dans le bassin de l'Ardèche, n'a aucune station hydrologique correspondante et aucune station hydrologique proche ne peut véritablement rendre compte des conditions hydrologiques de ce bassin.

Les données des stations sélectionnées ont permet de déterminer les débits suivants :

- Le débit moyen journalier (m^3/s) au jour de prise de vue de la photo (uniquement pour les stations certaines) ;
- Les débits moyens mensuels calculés sur plusieurs années et le module afin d'obtenir le régime hydrologique de chaque tronçon ;
- Les fréquences des débits classés ;
- Les valeurs de débit pour les crues de fréquences biennale (Q_2), quinquennale (Q_5), décennale (Q_{10}) et vingtennale (Q_{20}), et le nombre de mois qui séparent chaque photo de ces événements extrêmes.

B . ANALYSE SYNCHRONIQUE : LES ORTHOPHOTOS 2000

La figure ci-dessous (Figure 3.1) montre le schéma avec les différentes phases de caractérisation des objets géographiques extraits des ortho-photographies.

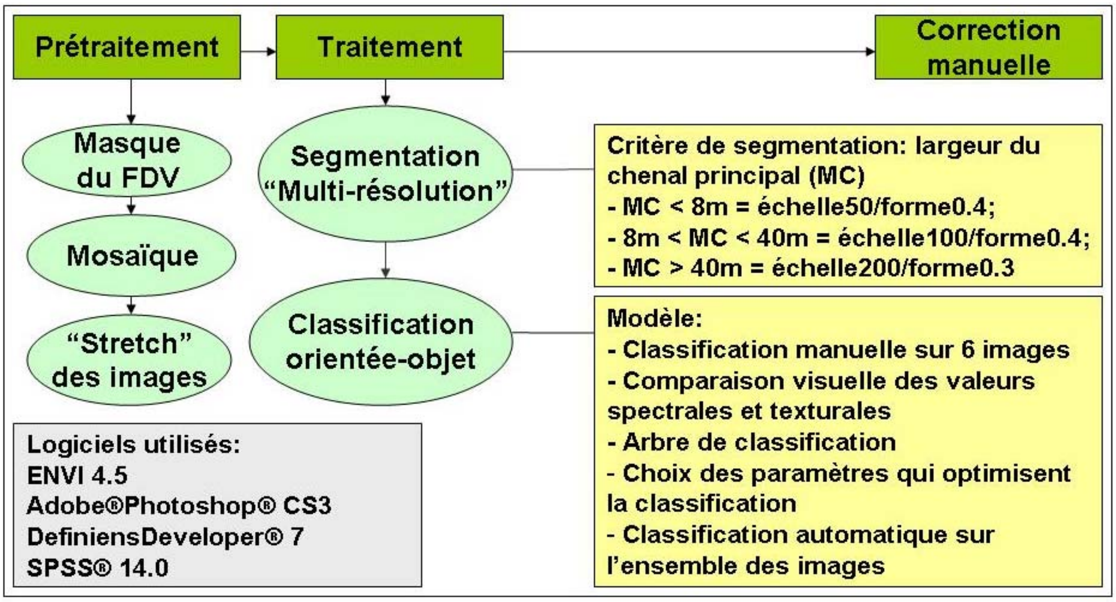


Figure 3.1. Méthode de traitement des images (FDV : fond de vallée).

1 . Prétraitement des images

Les données utilisées pour la caractérisation du corridor fluvial sont les orthophotographies de la BD Ortho® de l'IGN (Tableau 3.1). Il s'agit de photographies aériennes rectifiées géométriquement dont la résolution spatiale est de 50 cm. Elles couvrent de façon homogène l'ensemble du territoire et permettent d'acquérir des informations relativement actuelles avec une fréquence d'acquisition quinquennale. Ces images répondent donc aux exigences d'une étude hydromorphologique à large échelle (Wiederkehr *et al.*, 2008).

Tableau 3.1. Caractéristiques de la BD Ortho® (Wiederkehr et al., 2008).

Généralités	
Résolution spatiale	50 cm
Résolution spectrale	3 canaux : visible (rouge, vert, bleu) ou infrarouge, rouge, vert
Fréquence d'acquisition	tous les 5 ans (à moyen terme, tous les 3 ans)
Taille d'une dalle	5 km * 5 km ou 1 km * 1 km
Dates d'acquisition	entre 2003 et 2006, selon les départements

La BD Ortho® comporte également des inconvénients : les campagnes d'acquisition des photos se déroulent sur plusieurs mois, voire plusieurs années et donc ne sont pas strictement homogènes sur l'ensemble du territoire national. On observe notamment des différences de luminosité entre dalles.

Les images utilisées dans notre étude couvrent une période de 4 ans, de 2002 à 2006, et correspondent généralement aux mois de juin ou de juillet. Le prétraitement des images s'effectue en deux étapes fondamentales:

- Le découpage des images à l'aide d'un masque correspondant au fond de vallée (Figure 3.2, Alber et Piégay, 2008) à l'aide de l'outil « built mask » sous le logiciel ENVI 4.5. Les images sont ensuite mosaïquées si nécessaire (outil « mosaicking → georeferenced » sous ENVI 4.5).
- Le « stretching » ou étirage de l'histogramme des valeurs spectrales (outil « réglages niveaux », sous Photoshop CS3), afin d'effacer les valeurs nulles et de réduire la variabilité spectrale entre images et donc de permettre la comparaison entre sites. (Lejot, 2008).

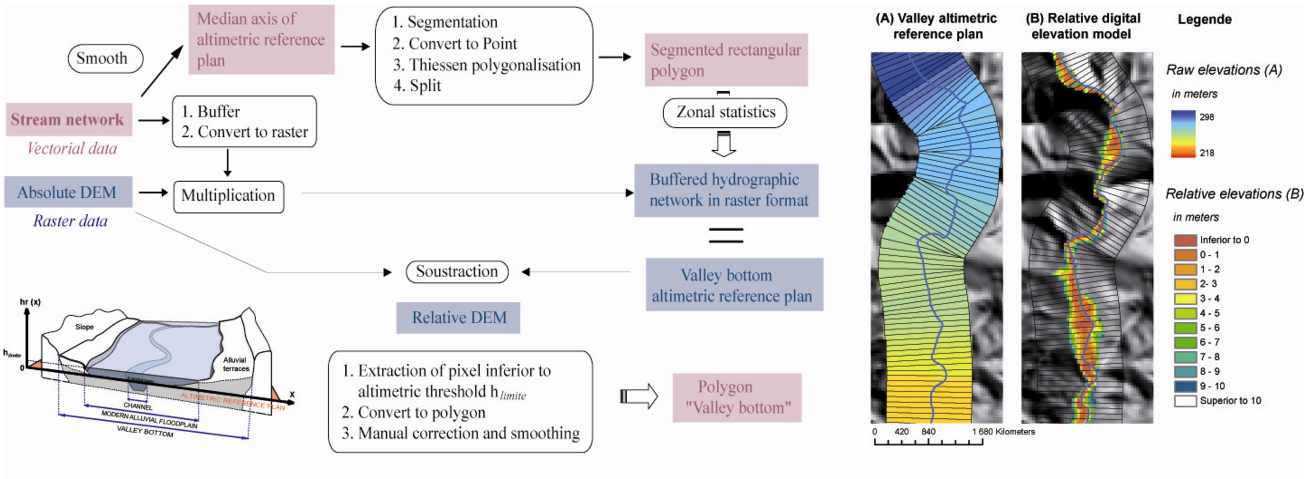


Figure 3.2. Schéma opératoire utilisé pour extraire le fond de vallée du MNT (Alber et Piégay, 2008).

2 . Extraction des classes d'objets

La structure du corridor fluvial est analysée à parti d'une cartographie de l'occupation du sol, la géométrie des différentes taches étant alors analysée. L'extraction des classes d'objets d'occupation du sol a été effectuée sous le logiciel eCognition© de Definiens. La méthode utilise une approche orientée-objet. Il s'agit d'une méthode qui caractérise les objets en utilisant leurs valeurs radiométriques mais aussi la forme, la texture et le contexte des objets; cette méthode est donc plus précise et complète que celle n'utilisant que les valeurs des pixels. Les résultats de la méthode orientée-objet sont similaires à ceux que l'on pourrait obtenir suite à une classification par photo-interprétation. La procédure d'extraction des classes d'objets, selon la méthode orientée-objet, se fait en deux étapes (Wong *et al*, 2003) :

- La segmentation de l'image : il s'agit de l'identification a priori des objets de l'image composés de plusieurs pixels ; les images sont alors subdivisées en régions homogènes selon le principe de « croissance des régions » (Perez Correa, 2004).

- La classification : à travers l'agglomération des objets présentant les mêmes valeurs spectrales et structurales. La logique de classification est dite « floue » : les objets sont assignés à chaque classe selon une valeur d'appartenance (ou de probabilité), entre 0 et 1 (Wiederkehr et *al*., 2009).

Principes de la segmentation sous le logiciel eCognition©

Le processus de **segmentation** des images a requis l'utilisation de l'algorithme de segmentation « multi-résolution » (Barbier, 2006). Dans la création des objets à partir des images, cette segmentation se sert de la combinaison de trois paramètres : échelle, forme et lissage.

Le paramètre d'**échelle** contrôle l'hétérogénéité maximale permise pour la création des objets. Le paramètre de **forme** est obtenu par la pondération de deux facteurs : couleur (facteur spectral) et forme (*stricto sensu*). C'est ce paramètre de forme qui détermine le nombre d'objets créés. Le **lissage,** enfin, complète l'étape précédente, en permettant de choisir les objets selon leur régularité (Wiederkehr *et al.,* 2009).

Le choix des valeurs de paramètres à utiliser dépend principalement de l'objectif de l'étude. Des séries de tests visuels ont été réalisées pour la sélection de la meilleure combinaison des trois paramètres, le but essentiel étant d'identifier correctement les chenaux en eau. En effet, il est fondamental pour notre étude de bien extraire le réseau hydrographique, que ce soit pour la compréhension de la dynamique fluviale, ou pour l'analyse des habitats aquatiques en tant que support de l'étude des communautés de macro-invertébrés. Sur la base de ces tests, le paramètre qui permet d'optimiser l'identification des chenaux en eau est le paramètre d'échelle (Figure 3.3).

Des mesures manuelles de largeur du chenal en eau ont été réalisées sous le logiciel ArcGis 9.2, à partir de quelques échantillons, pour l'étalonnage du paramètre d'échelle. Le choix de l'échelle a été effectué en fonction de la largeur du chenal : pour une largeur inférieure à 8 mètres, on retient une valeur d'échelle de 50 ; pour une largeur entre 8 et 40 mètres on a choisi une valeur d'échelle de 100,

et pour des largeurs du chenal supérieures, une valeur de 200. Le paramètre de forme a été fixé à 0,4 (et donc 0,6 pour le paramètre couleur) sauf pour des largeurs de chenal supérieures à 40 mètres (forme : 0,3 ; couleur : 0,7). Le paramètre lissage a été fixé à 0,5 pour toutes les images.



Figure 3.3. Exemple de segmentation basée sur le paramètre d'échelle. Les flèches rouges indiquent une meilleure extraction de l'eau à l'échelle 100 (droite) par rapport à l'échelle 200 (gauche).

Classification des objets sous eCognition©

Deux méthodes sont disponibles pour la **classification** des objets sous le logiciel eCognition de Definiens (Perez Correa, 2004) : une classification "experte", dans laquelle l'opérateur introduit les fonctions discriminantes (sur la base par exemple des paramètres spectraux, texturaux et d'homogénéité) et une classification "supervisée" pour laquelle le logiciel détermine automatiquement les fonctions sur la base de quelques échantillons sélectionnés pour chaque classe d'objets. Pour notre étude, nous avons utilisé une classification experte fondée sur une classification manuelle par photo-interprétation d'un échantillon de 6 sites sélectionnées dans l'ensemble du réseau. Les échantillons ont été sélectionnés afin d'avoir une bonne représentativité des caractéristiques spectrales et spatiales. Cette première classification a été utilisée comme modèle pour la classification (semi-)automatisée du reste du jeu de données. La première étape a consisté en la sélection de classes : eau, bancs de galets et végétation (et ombres) ; la classe végétation a été subdivisée en 3 classes : prairie, végétation pionnière et forêt (Figure 3.4).

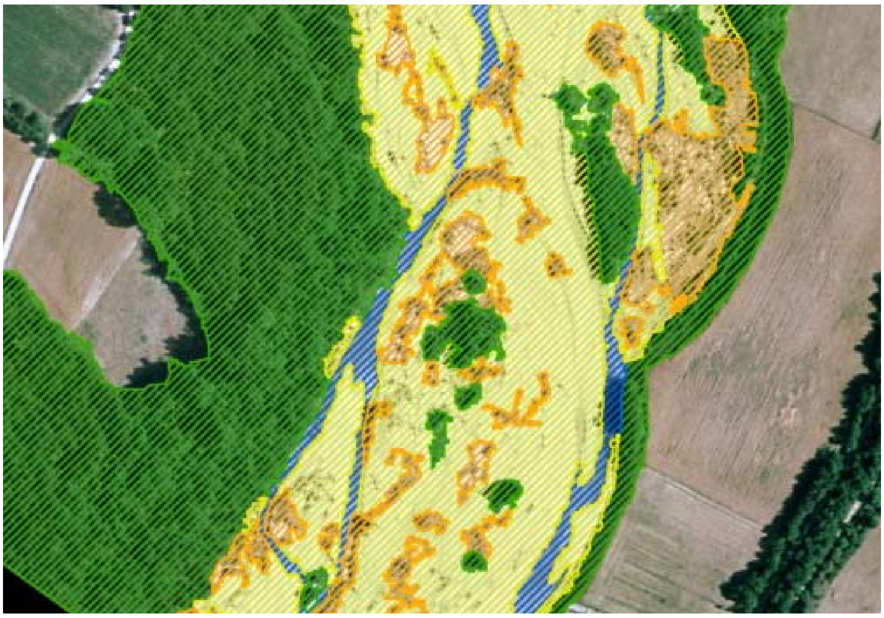


Figure 3.4. Exemple de classification : en vert la forêt ; en orange la végétation pionnière ; en jaune les bancs de galets ; en bleu l'eau.

Une analyse visuelle des valeurs spectrales, de texture, et d'homogénéité a ensuite été effectuée sur les 6 images classifiées par photo-interprétation; l'objectif était de sélectionner les fonctions discriminantes les plus pertinentes pour élaborer un arbre de décision sous SPSS©.

Cet arbre de décision a ainsi permis de déterminer quels fonctions et seuils relatifs des paramètres permettent d'optimiser la classification. Ces fonctions, et les valeurs seuil correspondantes, ont ainsi été utilisées pour élaborer l'arbre de classification optimisé (Annexe I), qui nous a permis d'obtenir 72,3% de polygones bien classés (Tableau 3.2).

Tableau 3.2. Synthèse des résultats de l'arbre de classification optimisé.

	n. objets per classe	n. objets classifiés per classe	% objets classifiés per classe	% TOT
Forêt	1234	1148	93,03	72,32
Ombres	166	81	48,80	
Végétation pionnière	546	311	56,96	
Prairie	130	54	41,54	
Bancs de galets	1283	1038	80,90	
Eau	478	143	29,92	

Le modèle de classification ainsi obtenu a ensuite été appliqué à l'ensemble des images avec l'outil d'eCognition « hierarchical classification ». Cependant, compte tenu du pourcentage d'erreur généré par cette méthode, une phase de nettoyage des cartes obtenues a été nécessaire.

Ensuite les polygones classés ont été fusionnés sous ArcGis9.2, sur la base des analyses envisagées, en bande active et bande fluviale. Par « bande active » (AC, *active channel*), nous entendons la zone comprenant les chenaux en eau et les bancs de galets non végétalisés (Figure 3.5, à gauche). Cette zone est obtenue, suite à la classification puis par fusion des objets eau et bancs de galets qui la composent. La « bande fluviale » (TA, *total channel area*) correspond à la zone comprise entre deux berges (Figure 3.5, à droite), à l'intérieur du corridor de végétation riveraine, qui concerne donc la bande active plus les îles végétalisées et toutes les taches de végétation (Toone, 2009).

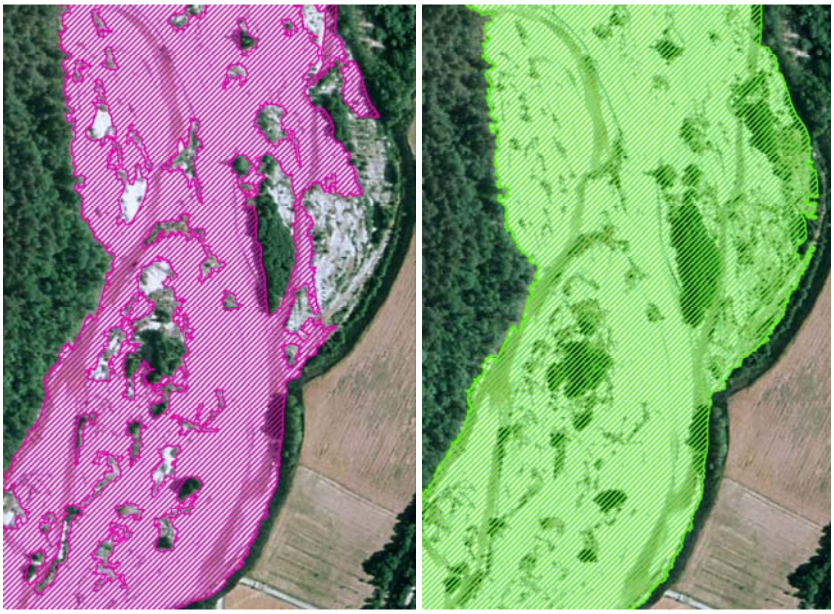


Figure 3.5. A gauche la bande active (AC, *active channel*) ; à droite la bande fluviale (TA, *total channel area*).

Pour terminer, les chenaux principal et secondaires ont été agrégés et fusionnés en éliminant les espaces vierges correspondant aux bancs de galets et aux îles de végétation, pour déterminer une **zone de tressage « active »** (Figure 3.6).



Figure 3.6. Zone de tressage active (comprise entre le chenal principal et secondaire).

L'identification de cette zone part de la constatation faite par Egozi et Ashmore (2008, 2009) lors d'expériences *en flume* selon lesquelles seule une partie du réseau de chenaux (*active channel*, sensu Egozi et Ashmore, 2008) à l'intérieur de la bande active est directement impliquée dans le transport de la charge de fond.

3 . Traitement des données et métriques extraites

A partir des polygones obtenus sous eCognition et exportés sous ArcGis 9.2, des traitements géomatiques ont été appliqués afin d'obtenir des métriques et des indices synthétiques de caractérisation des structures paysagèresFigure 3.7).

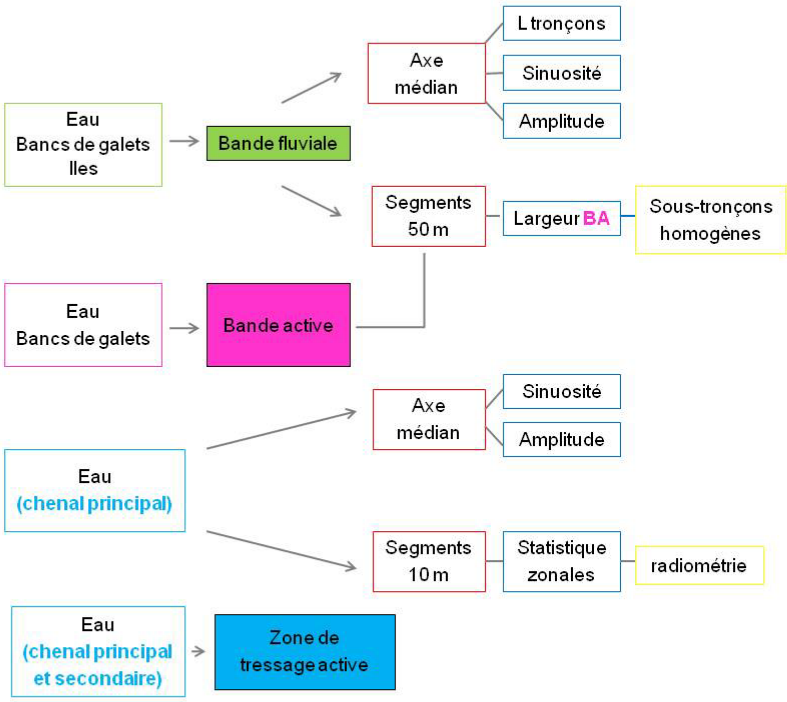


Figure 3.7. Schéma opératoire d'extraction des métriques de caractérisation des habitats.

Au niveau de la **bande fluviale,** nous avons extrait l'axe médian, c'est-à-dire l'axe qui passe au centre de la bande fluviale et qui segmente donc en deux parties égales ladite bande. La longueur de cet axe médian a ensuite été utilisée comme mesure de longueur des tronçons. La procédure d'extraction de l'axe médian a été développée par Alber et Piégay (sous presse) pour l'extraction du fond de vallée (Figure 3.8) à l'échelle régionale du réseau hydrographique. La réalisation de cet axe médian a permis le calcul de la sinuosité et de l'amplitude de la bande fluviale à partir de la création d'arcs hydrographiques, selon la procédure d'Alber et Piégay (sous presse). La bande fluviale a ensuite été segmentée de façon régulière, tous les 50 m, grâce à la construction de segments perpendiculaires à cet axe médian.

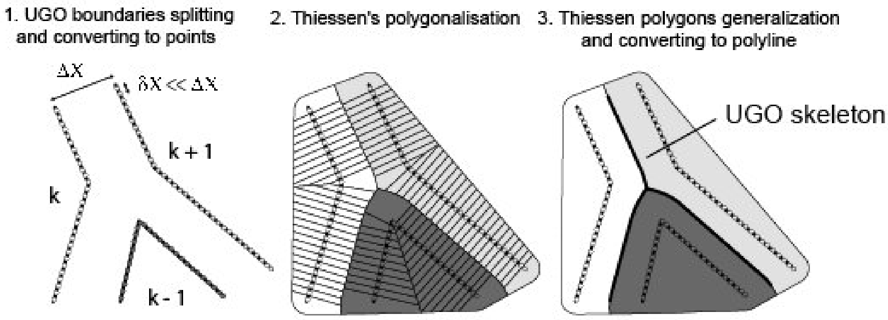


Figure 3.8. Réalisation de l'axe médian de fond de vallée (Alber et Piégay, sous presse).

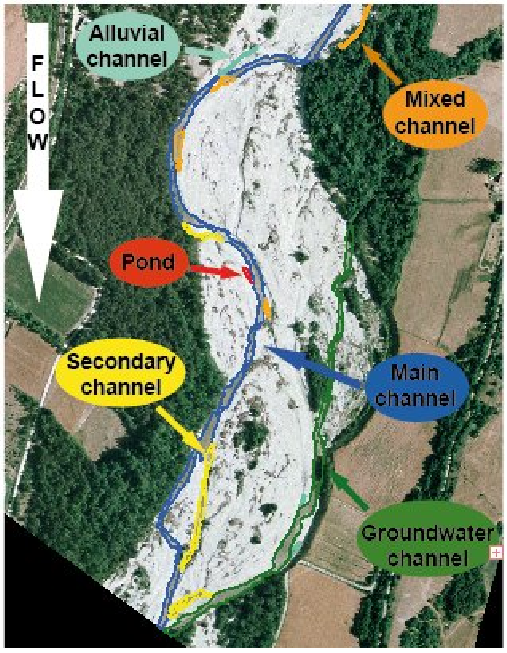
Ces segments orthogonaux à l'axe médian de la bande fluviale ont été utilisés pour le calcul de la largeur de la **bande active**, elle-même ainsi segmentée en polygones de 50m de longueur. L'objectif est de créer des sous-tronçons de bande active homogènes par leur largeur, ces polygones étant ensuite successivement agrégés (test de Pettitt, 1979). La création de l'axe médian de la bande active n'a pas été possible de façon automatisée, à la différence de la bande fluviale, à cause de l'absence d'îles et de taches de végétation dans la bande active.

En ce qui concerne la partie aquatique des habitats (= chenaux en eau), la classification a été réalisée manuellement par photo-interprétation afin de distinguer les différents chenaux sur la base de leur connexion au chenal principal (Figure 3.9).

Les habitats aquatiques correspondent à tous les chenaux en eau classés en fonction de leur interconnexion et de leur connexion avec le chenal principal (Tockner et Malard, 2003 ; Van der Nat et al., 2003). La figure ci-dessous montre les différents types de chenaux identifiés :

- **chenal principal** (MC, *main channel*) = le plus large chenal en eau où le flux d'eau est continu ;
- **chenal secondaire** (SC, *secondary channel*) = connecté à l'amont et à l'aval au chenal principal mais de taille plus réduire que le précédent ;
- **chenal alluvial** (AL, *alluvial channel*) = chenal naissant dans la bande active, connecté uniquement à l'aval au chenal principal ou aux chenaux secondaires et théoriquement alimenté principalement par la nappe phréatique ;
- **chenal mixte** (MIX, *mixed channel*) = connecté à l'amont au chenal principal/chenaux secondaires mais pas à l'aval,
- **plan d'eau** (P, *pond*) = masse d'eau présente dans la bande active mais non connectée au réseau de chenaux actifs ;
- **chenal phréatique** (GW, *groundwater channel*) = chenal naissant dehors de la bande active connecté uniquement à l'aval qui reçoit des apports soit de la nappe phréatique, soit des versants ;
- **zone humide** (WL, *wetland area*) = zone non-connectée au réseau hydrographique et généralement située hors de la bande active/bande fluviale ;

- **affluent** (T, *tributary channel*).



Exemple de classification des habitats aquatiques

MC	Main channel	chenal principal
SC	Secondary channel	chenal secondaire
MIX	Mixed channel	chenal mixte
AL	Alluvial channel	chenal alluvial
GW	Groundwater channel	chenal phréatique
P	Pond	étang
T	Tributary channel	affluent
WL	Wetland	zone humide

Figure 3.9. Schéma de classification et définition des habitats aquatiques.

Cette classification détaillée permet une analyse fine du patron de tressage, notamment à travers le calcul d'indices comme l'indice de tressage, la sinuosité du chenal en eau, les indices de diversité des habitats aquatiques, etc.

En ce qui concerne l'indice (ou taux) de tressage, qui permet la carctérisation de l'intensité du tressage, on reconnait en literature differents façons de le calculer : ils existent les indices qui prennent en compte à la fois le nombre de chenaux comptabilisés sur des sections transversales de longueur définie (Howard et al., 1970), ou les indices qui utilisent la longueur des îles ou des bancs de galets (braid bars) par rapport à la longueur du tronçon considéré (Brice, 1964), ou encore les indices qui considèrent la longueur des chenaux par rapport à la longueur du tronçon (Hong et Davies, 1979 ; Mosley, 1981), ces derniers étant nommés indices de « sinuosité totale » (par exemple Richards, 1982). Dans cette étude, nous avons utilisé l'indice de sinuosité totale de Hong et Davies (1979) (figure ci-dessous), qui considère la longueur totale des chenaux en eau divisée par la longueur du tronçon.

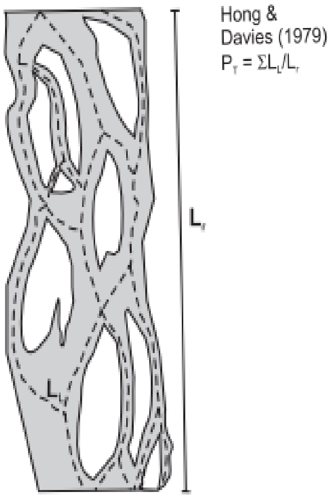


Figure 3.10. Indice de sinuosité totale de Hong et Davies, 1979. Figure extraite de Egozi et Ashmore, 2008.

On a différencié l'indice d'intensité du tressage relatif à la totalité des chenaux en eau (Pttw) de l'indice d'intensité du tressage de la zone de tressage active (Figure 3.6) définie par les chenaux principal et secondaires (Ptfw).

Les données sont présentées au chapitre méthode (p.Chapitre II - 50)et le tableau de données est consultable en annexe III.

C . REPONSE DE LA BANDE ACTIVE/FLUVIALE AUX EPISODES DE CRUES

Dans cette partie, l'objectif de caractériser à une échelle temporelle plus fine la variabilité des ajustements de géométrie à la suite de crues. En effet, la définition et la typologie des rivières en tresses passent par une meilleure compréhension de la dynamique de la végétation riveraine car les changements de géométrie du lit répondent invariablement aux comportements de la végétation vis-à-vis du transport de sédiments et de l'hydrologie. Comprendre la structure et le rôle de la végétation dans une rivière en tresses, notamment sa dynamique d'expansion post-crue, est donc indispensable.

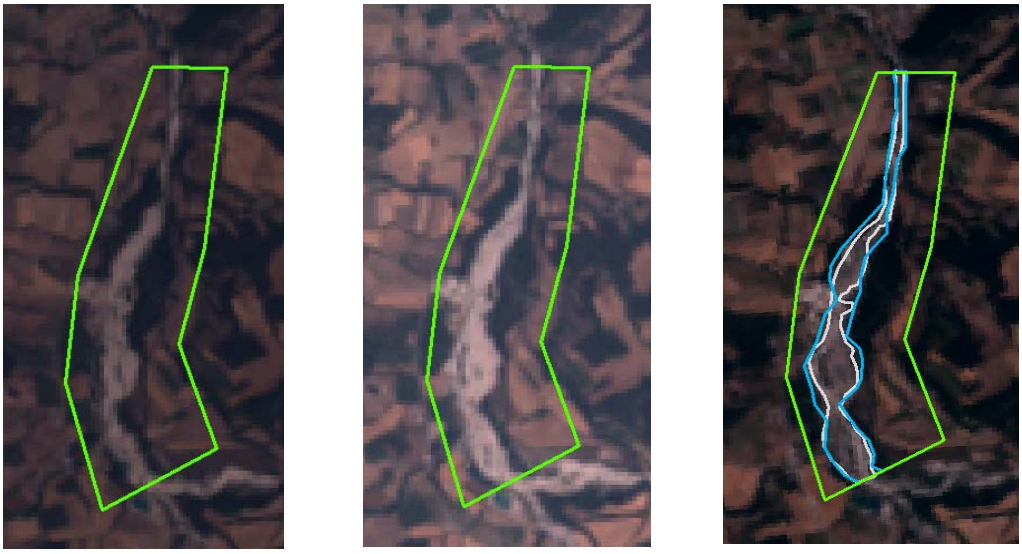
Cette analyse repose sur une étude de la dynamique annuelle de colonisation végétale à partir des images satellitaires (Landsat et Spot) et à très haute résolution (images drone). Cette question qui n'était pas envisagée au début des travaux a émergé avec les premiers résultats de l'automne 2009. En effet, il n'existe apparemment pas de relation simple et généralisable entre l'intervalle séparant la date d'observation de la dernière crue morphogène (la décennale notamment) et la superficie occupée par les peuplements pionniers. L'hypothèse d'une végétation poussant de façon « régionalisée » à l'intérieur de la bande active (eau + galets) a alors été envisagée, Le constat que cette végétalisation était peut-être plus important que le contrôle hydrologique pour expliquer la mosaïque observée nous a conduit à lancer ce travail complémentaire.

Deux approches ont donc été retenues pour étudier la réponse végétale à des crues de forte intensité :

- via des images satellites archivées permettant de suivre annuellement l'évolution planimétrique du chenal de plusieurs rivières et de les comparer,
- via des images drone de résolution centimétrique permettant de suivre annuellement la dynamique de recolonisation et de la comprendre à un niveau plus processuel.

1 . Les images Landsat/Spot

La contrainte majeure des images Landsat est la résolution spatiale (30 m) qui ne permet d'étudier que les rivières dont la largeur de la bande active moyenne dépasse les 100 m, soit 10 rivières parmi les 50 tronçons sélectionnés. Pour la même raison, il est impossible d'observer sur ces images ce qu'il se passe à l'intérieur de cette bande active, et notamment l'apparition de la végétation pionnière. C'est pourquoi, lors de l'analyse des résultats, nous parlerons plus volontiers de **bande fluviale** (Figure 3.5). Un exemple est donné ci-dessous dans le cas de la Drôme (Figure 3.11) : les deux premières images sont « brutes », telles qu'on peut les obtenir grâce à Landsat (le polygone vert correspond au tronçon auquel on s'intéresse). Sur le 3e cliché on a superposé les contours de la bande fluviale de la rivière telle qu'elle était en 2004 (en bleu) avec sa morphologie de 2009 (en gris). Les données Landsat étant insuffisantes, nous avons été amenés à commander également des images SPOT.



La Drôme en 2003 La Drôme en 2004 La Drôme en 2009

Figure 3.11. Numérisation de la bande fluviale sous ArcGis 9.2 à partir d'images Landsat.

2 . Les images drone

Chaque année depuis 2005, le CNRS procède à l'acquisition d'images à très haute résolution (de l'ordre de la dizaine de cm) sur la Drôme, par drone (petit aéronef sans pilote équipé d'une caméra). A l'inverse des images Landsat, ces photos sont d'une qualité telle que l'on peut non seulement étudier la végétation poussant à l'intérieur et à l'extérieur de la bande active, mais même raisonner à l'échelle de l'individu.

A la différence des images Landsat, on numérise cette fois, pour chaque année, les polygones des différentes **« entités végétatives »** (végétation sûre/végétation naissant d'une laisse de crue/ligneux à confirmer l'année suivante) sous système d'information géographique, ici ArcGis 9.2 (Figure 3.12).

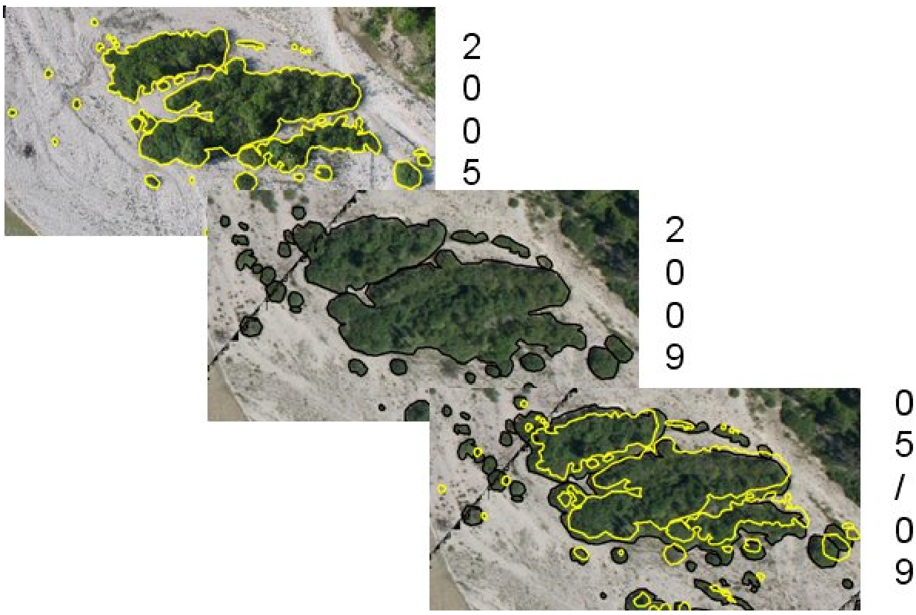


Figure 3.12. Numérisation de la végétation ligneuse sur la Drôme entre 2005 et 2008 à partir d'images prises par drone.

CHAPITRE II - PREMIERS RESULTATS

PARTIE 1. PRESENTATION DE L'ECHANTILLON

A . LES TRONÇONS DANS LE BASSIN RMC

Les 55 tronçons choisis sont distribués sur tout le réseau du bassin RMC, comprenant 4 grands bassins hydrographiques (Figure 1.1), témoins de la versatilité du style en tresses : 20 tronçons se situent dans le bassin hydrographique du Rhône, 9 dans celui de l'Isère, 24 dans celui de la Durance et 2 dans le bassin hydrographique du Var. Les tronçons se répartissent en 4 hydro-écorégions de niveau 1 (HER-1) et en 14 hydro-écorégions de niveau 2 (HER-2) : 11 sites sont localisés dans la HER-1 Alpes Internes (2), 8 sites en HER-1 Jura-Préalpes du Nord (5); 13 sites en HER-1 Méditerranée (6) ; 23 sites en HER-1 Préalpes du Sud (7).

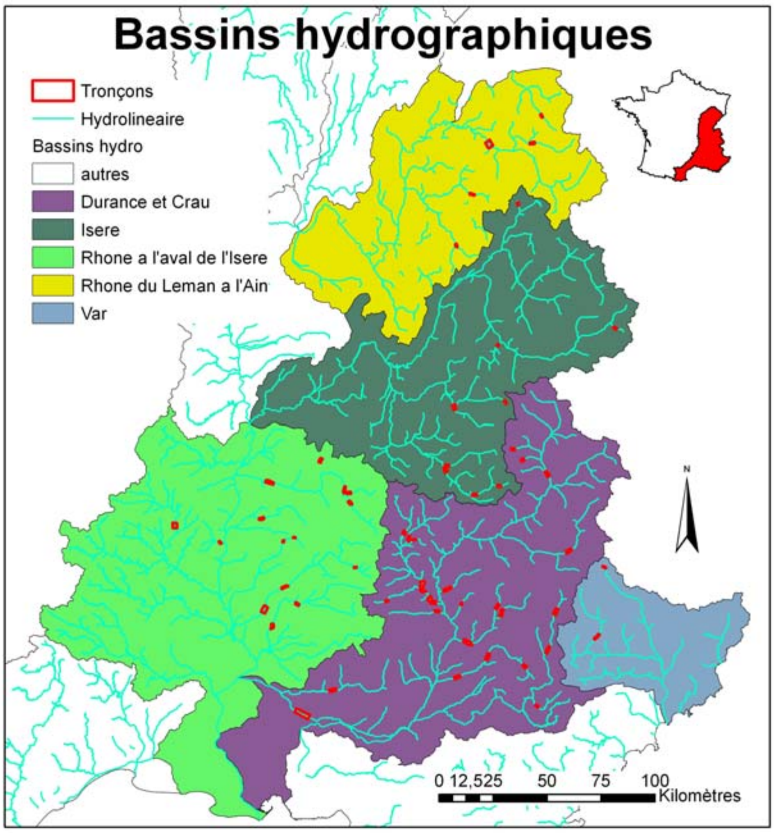


Figure 1.1. Distribution des tronçons au sein de 5 bassins hydrographiques intéressés.

La surface drainée va de 36,7 km² pour le Fournel à 12972,3 km² pour la Durance aval (Durance_O), pour une moyenne de 658 km².

L'altitude moyenne est de 708,3 m avec un minimum de 75,3 pour l'Aigue aval (Aigue_C) et un maximum de 1787 m pour l'Avérole.

La pente est de 13,9 m/km en moyenne : la Durance aval (Durance_O) détient le minimum avec 2,25 m/km et le Bans le maximum avec 52,5 m/km.

Inversement, le Bans possède le fond de vallée le plus étroit, avec 59,8 m de largeur et la Durance aval le plus large, avec 7749 m de largeur ; la largeur moyenne du fond de vallée est de 693,8 m.

En ce qui concerne la largeur de la bande active, en moyenne de 95 m, le minimum est observé pour le Lez amont (Lez_A) avec 23,9 m et le maximum pour le Buëch aval (Buech_A) avec 257,5 m.

La longueur moyenne des tronçons, calculée comme 20 fois la largeur de la bande active, est de 2458 m ; le tronçon le plus long est évidemment le Buëch aval (Buech_A) avec 5816,8 m ; par contre le tronçon le plus petit est le Bans, si l'on considère comme longueur de tronçon la longueur de l'axe médian de la bande fluviale (chapitre méthode, p.2824).

Ci-dessous (Figure 1.2) un résumé des variables caractérisant les tronçons d'étude.

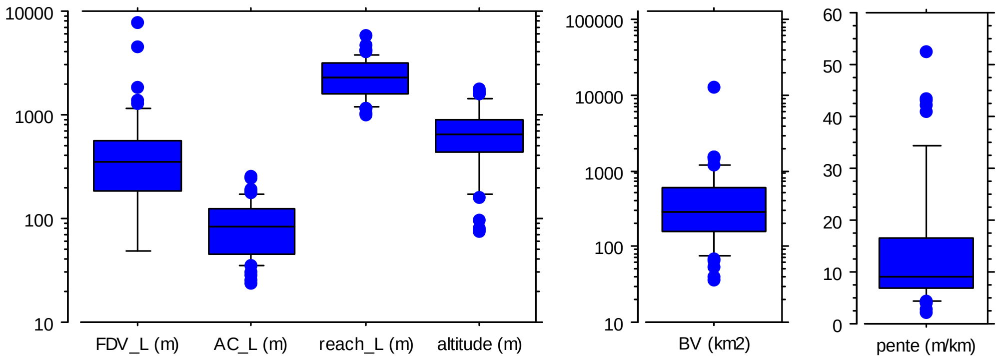


Figure 1.2. Distribution des principaux paramètres géographique caractérisant l'échantillon (FDV_L , largeur du fond du vallée ; AC_L (*active channel*), largeur de la bande active ; BV, surface du bassin versant).

La figure suivante (Figure 1.3) montre des exemples d'images parmi les tronçons d'étude montrant la variabilité des styles de tressage présents dans le bassin RMC.

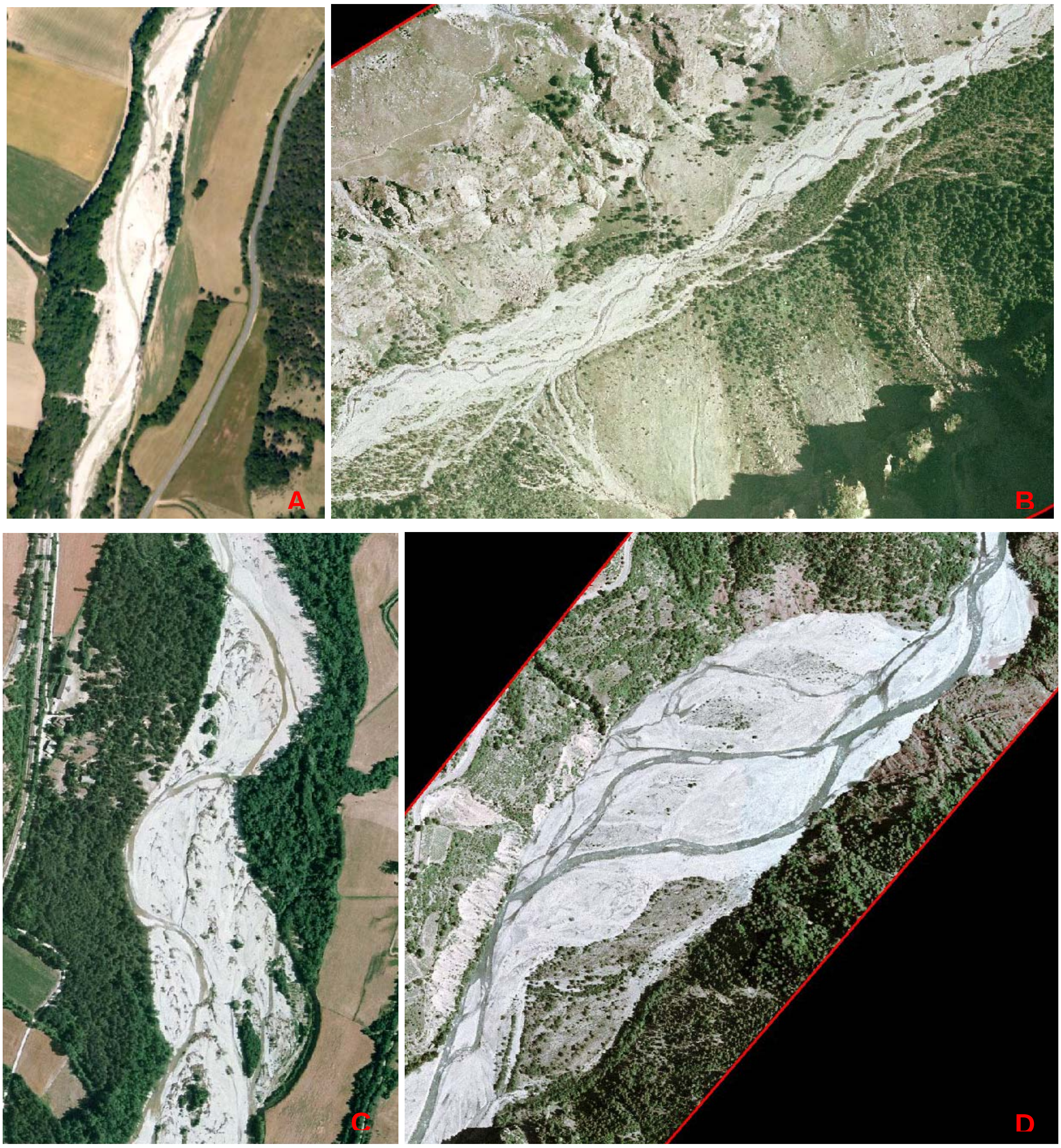


Figure 1.3. Exemple d'images qui montrent la diversité du patron de tressage dans les tronçons d'étude. A) Sure ; B) Fournel ; C) Petit Buech ; D) Var.

B . CARACTERISATION HYDROLOGIQUE

La figure ci-dessus présente de manière synthétique les différents régimes hydrologiques caractérisant les 55 tronçons, ceux-ci étant subdivisés en grandes « zones géographiques » (Figure 1.5) : les tronçons du nord versus ceux du sud, l'est versus l'ouest, les Alpes internes de haute montagne, les tronçons sous influence glaciaire de « très » haute montagne.

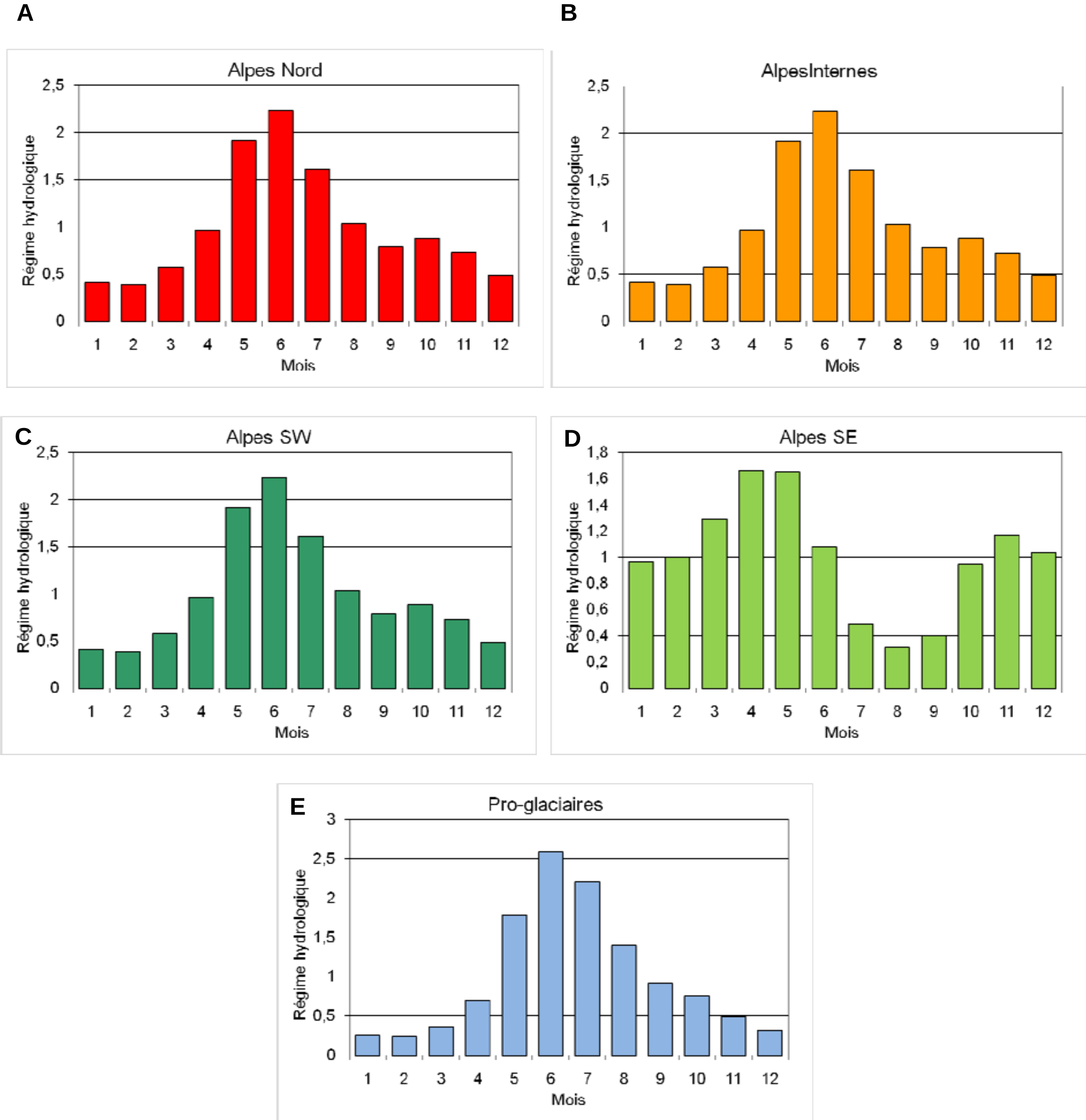


Figure 1.4. Les régimes hydrologiques. Rapport entre la moyenne des débits mensuels moyens des stations régionales et la moyenne de leurs modules par « zones géographiques » : A - Alpes du nord, 6 stations ; B - Alpes internes, 5 stations ; C - Alpes SE, Alpes du sud-est ; 20 stations; Alpes SW ; D - Alpes du sud-ouest ; 13 stations ; E - Pro-glaciaires ; 7 stations .

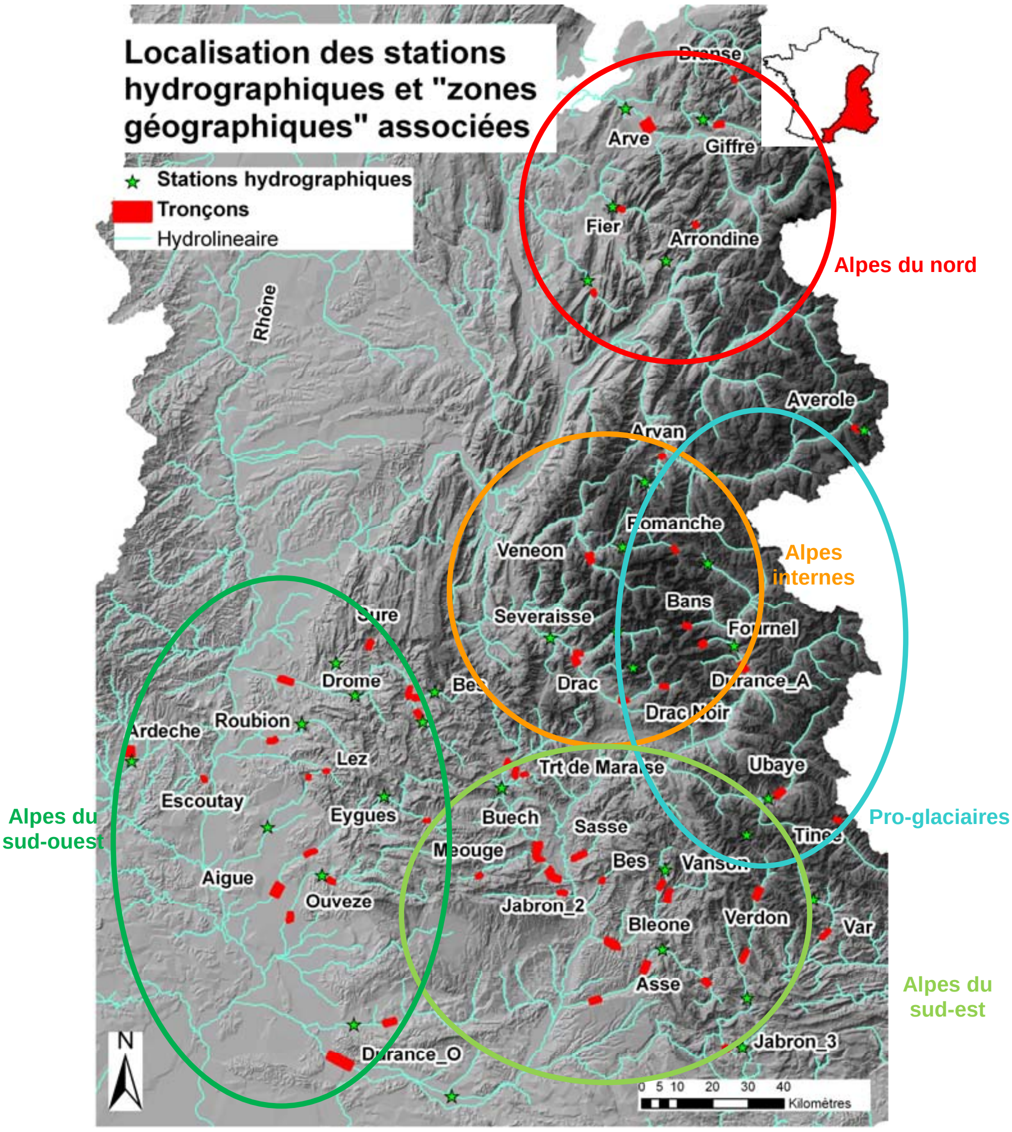


Figure 1.5. Localisation des stations hydrologiques et des « zones géographiques ».

Notre jeu de données est représentatif de la variabilité des régimes hydrologiques rencontrés dans le bassin du Rhône. Certaines spécificités sont nettes : un maxima d'automne pour les tronçons des Cévennes, présence de deux pics (printemps et automne) pour les Alpes du Sud-est, les tronçons des Alpes du Sud-ouest ont un pic plus précoce en mai et ne présentent pas un second maxima d'automne ; un seul pic pour les Alpes internes, les tronçons pro-glaciaires et les Alpes du Nord mais avec un maximum en mai/juin pour les Alpes du Nord et Internes et en juin/juillet pour les tronçons pro-glaciaires.

PARTIE 2. LES TRAJECTOIRES GEOMORPHOLOGIQUES

Rédacteurs : F. Liebault, M. Cassel, H. Jantzi, S. Tacon, N. Talaska

A . RÉGIMES SEDIMENTAIRES DES TRESSES

Les rivières en tresses étudiées présentent une tendance dominante à l'incision (Figure 2.1) entre le début du XXème siècle et aujourd'hui. Près de 57% des sous-tronçons présentent une incision significative (supérieure à 0,5 m) contre 21% pour un exhaussement significatif. Les 22 % restants sont compris dans l'intervalle d'incertitude et sont considérés comme stables. On note une grande variabilité, avec une amplitude des valeurs observées de 18 m (de -8 à +10 m).

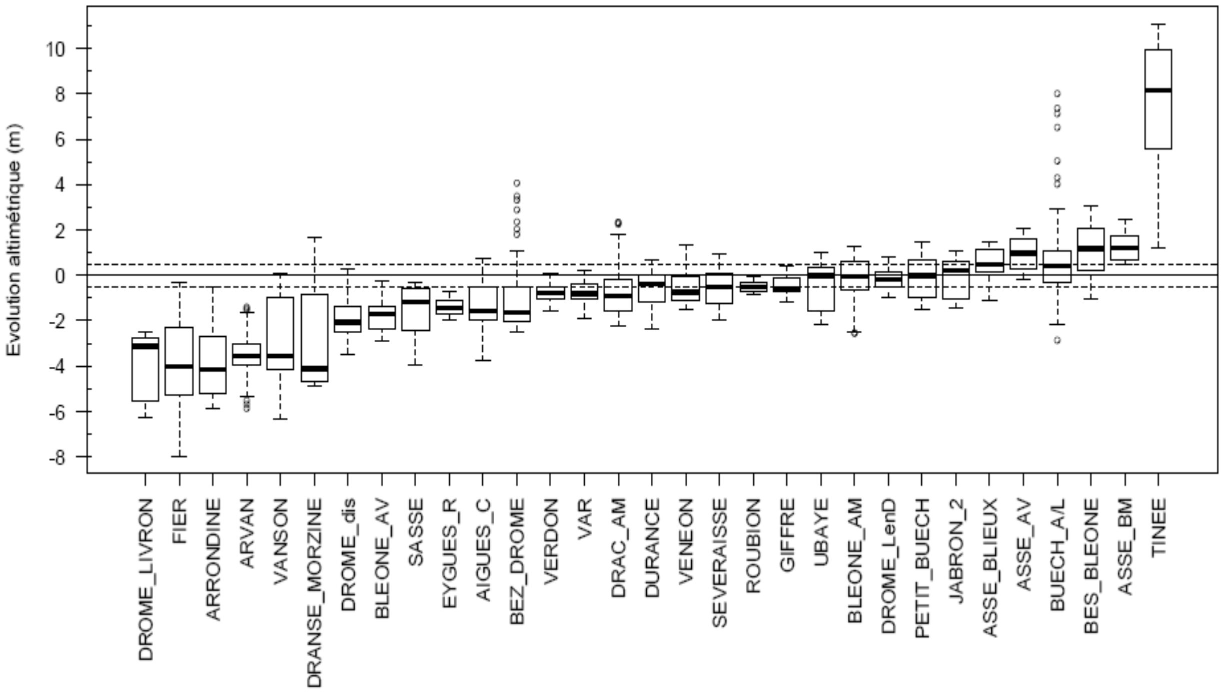


Figure 2.1. Distributions statistiques de l'évolution altimétrique reconstituée sur les différents sites d'étude ; les traits discontinus correspondent au seuil de détection du changement altitudinal ; les boîtes correspondent à l'intervalle interquartile ; la position de la médiane est indiquée à l'intérieure des boîtes, les moustaches représentent 1,5 fois l'intervalle interquartile.

La distribution géographique des régimes sédimentaires montre que toutes les rivières en exhaussement se situent dans les Alpes du Sud (Figure 2.2, Figure 2.3). Les valeurs moyennes d'exhaussement s'échelonnent entre 0,53 m pour l'Asse de Blieux et 7,5 m pour la Tinée. Dans cette région, des rivières présentent aussi de fortes valeurs moyennes d'incision comme le Vanson avec -3,12 m et la Drôme de Livron avec -4 m. Dans les Alpes du Nord, les rivières sont toutes en incision. Les rivières les plus incisées sont le Fier, l'Arrondine et l'Arvan avec des incisions moyennes respectives de -4,0, -3,8 et -3,5 m (Figure 2.4).

ID	NAME	Evolution altimétrique moyenne (m)
1	Aigue_C	-1.32
3	Arrondine	-3.85
4	Arvan	-3.54
6	Asse_BM	1.29
7	Asse_av	0.92
8	Asse_de_Blieux	0.53
11	Bes_Bl	1.11
12	Bes_Dr	-0.93
13	Bleone_am	-0.23
14	Bleone_av	-1.80
16/17	Buech_A/L	0.94
19	Drac_am	-0.68
22	Drans	-2.81
23	Drome (dis)	-1.90
24	Drome_LenD	-0.15
25	Drome_Liv	-4.02
27	Durance_O	-0.59
30	Eygues_R	-1.41
31	Fier	-4.01
33	Giffre	-0.47
34	Jabron_2	-0.09
42	Petit_Buech	-0.14
44	Roubion	-0.52
45	Sasse	-1.63
46	Severaisse	-0.53
48	Tinee	7.52
50	Ubaye	-0.39
51	Vanson	-3.12
52	Var	-0.75
53	Veneon	-0.54
54	Verdon	-0.77

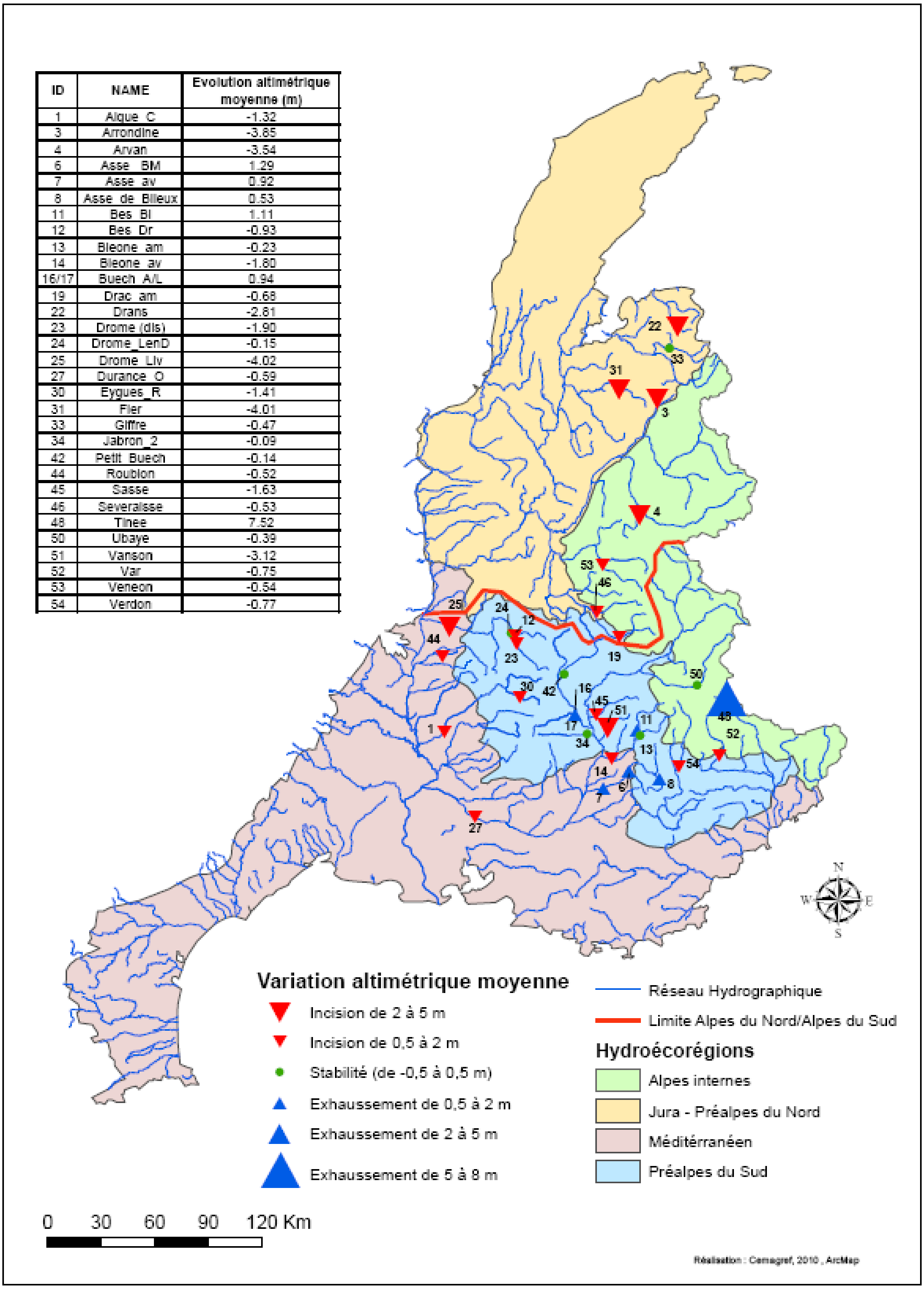


Figure 2.2. Carte de la répartition spatiale des évolutions altimétriques observées sur un siècle.



Figure 2.3. Rivière en exhaussement des Alpes du Sud : l'Asse près de Mézel (Asse_BM) (N. Talaska).



Figure 2.4. Rivière en incision des Alpes du Nord : le Fier près de Dingy-Saint-Clair (N. Talaska).

Le régime sédimentaire est contrôlé par la charge en sédiments grossiers. Trois facteurs permettent de caractériser l'importance de ces apports : les sources de versants (torrents actifs), l'érosion latérale et les sites d'extraction de graviers. Considéré de manière indépendante, chaque facteur présent une relation forte avec l'évolution altitudinale moyenne du profil en long (Figure 2.5 A, B et C). Les tests statistiques non paramétriques (Kruskall-Wallis) confirment pour chaque facteur une influence sur l'évolution altitudinale (Tableau 2.1).

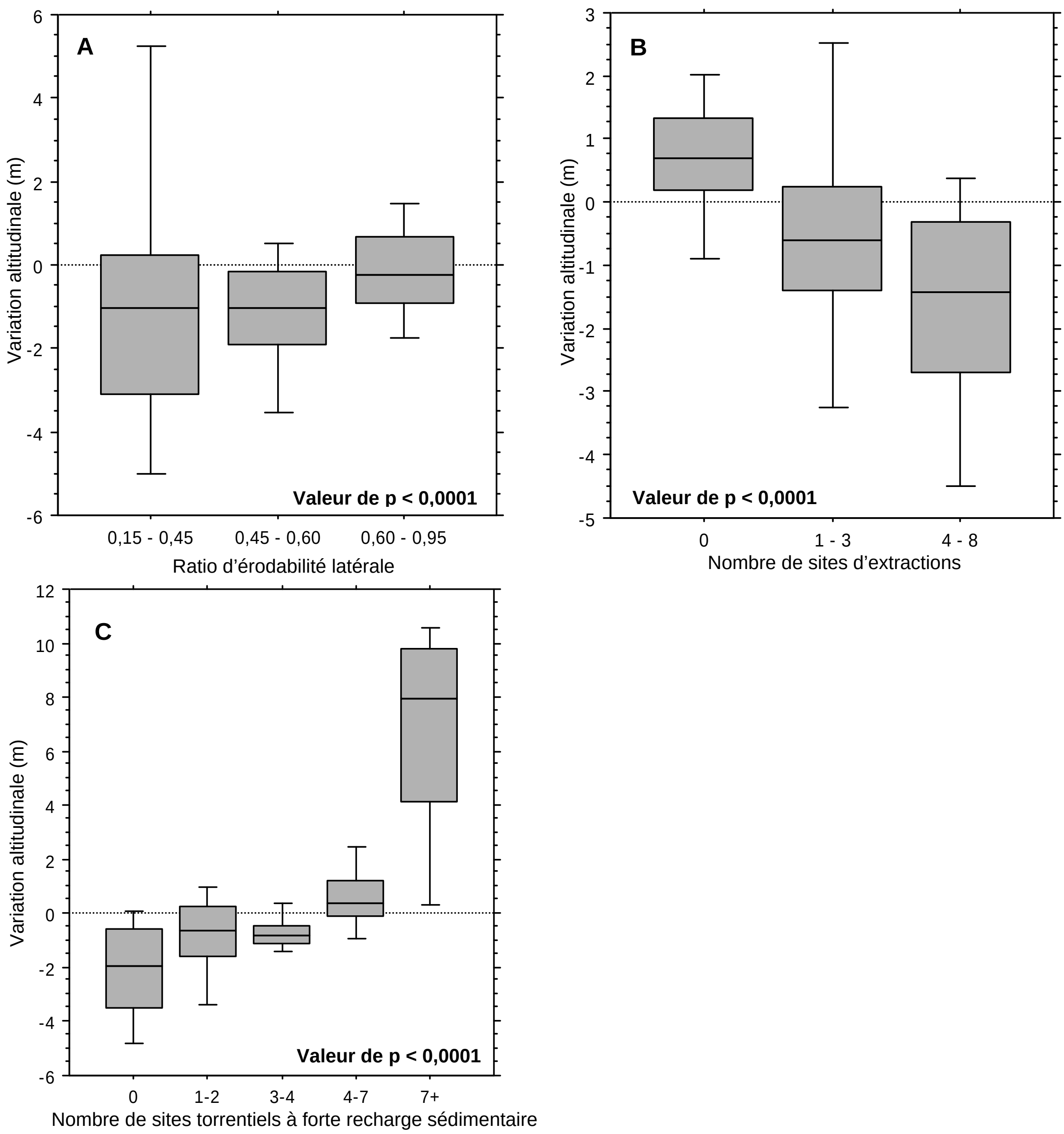


Figure 2.5. Influence des forçages sédimentaires sur l'évolution altitudinale moyenne du profil en long (A) L'érosion latérale (B) Les extractions (C) Les sources de versants.

Tableau 2.1. Résultats des tests statistiques pour chaque facteur.

EROSION

DDL	2
# Groupes	3
# ex-aequo	0
H	140,347
Valeur de p	<,0001
H corrigé pour ex-aequo	140,347
p corrigé pour ex-aequo	<,0001

	Nombre	Somme des rangs	Moy. des rangs
0,15 - 0,45	567	441304,000	778,314
0,45 - 0,60	614	477168,000	777,147
0,60 - 0,95	573	620663,000	1083,182

EXTRACTIONS

DDL	2
# Groupes	3
# ex-aequo	0
H	324,846
Valeur de p	<,0001
H corrigé pour ex-aequo	324,846
p corrigé pour ex-aequo	<,0001

	Nombre	Somme des rangs	Moy. des rangs
0	218	296462,000	1359,917
1 - 3	765	717660,000	938,118
4 - 8	771	525013,000	680,951

TORRENTS ACTIFS

DDL	4
# Groupes	5
# ex-aequo	0
H	365,420
Valeur de p	<,0001
H corrigé pour ex-aequo	365,420
p corrigé pour ex-aequo	<,0001

	Nombre	Somme des rangs	Moy. des rangs
0	388	222883,000	574,441
1-2	1113	994277,000	893,331
3-4	73	65483,000	897,027
4-7	98	126538,000	1291,204
7+	82	129954,000	1584,805

B . INDICATEURS MORPHOMETRIQUES DU REGIME SEDIMENTAIRE

1 . Forme du profil en long

L'indice de forme du profil en long (*F*) montre une différence significative (Kruskall-Wallis, $p < 0{,}0001$) entre les tresses exhaussées, incisées et stables (Figure 2.6 A et B). Les tresses incisées présentent des formes plutôt concaves. Cette concavité peut être très marquée comme pour l'Arrondine, le Giffre ou le Vénéon. Inversement, les tresses exhaussées et stables ont des formes plutôt convexes qui traduisent probablement la formation de mégaformes d'accumulation sédimentaire (Church and Jones, 1982). L'influence de ces mégaformes sur la structure des pentes du profil en long a été également observée sur de petits cours d'eau d'Amérique du Nord impactés par la propagation de vagues sédimentaires liées à l'exploitation forestière des versants (Roberts and Church, 1986). Ces auteurs utilisent le terme de « *sediment wedge* » pour désigner ces formes. L'examen des orthophotographies montre que les zones de convexité coïncident souvent avec un élargissement des bandes de tressage, ce qui traduit bien la formation de grandes zones d'atterrissements qui contribuent à déporter l'écoulement sur les marges de la tresse et à élargir la bande active.

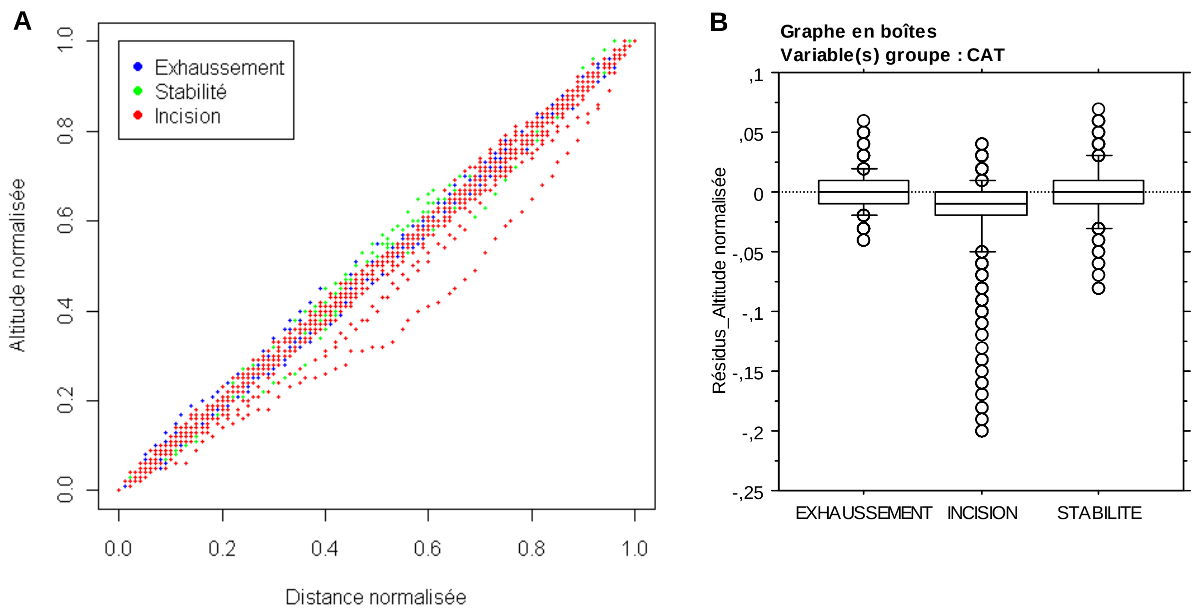


Figure 2.6. (A) Forme des différents profils en long récents normalisés et (B) distribution statistique des valeurs de l'indice de forme F.

2 . Géométrie transverse

Parmi l'ensemble des variables étudiées, certaines ont montré des différences significatives permettant de discriminer les tresses en exhaussement de celles en incision.

La dénivellation entre l'altitude moyenne de la bande active et celle des chenaux en eau (Hba) présente une différence significative (p=0,0158 ; test U de Mann-Whitney) entre les rivières incisées et exhaussées (Figure 2.7). Les chenaux en eau des rivières en incision sont donc plus enfoncés dans la bande active que ceux des rivières en exhaussement. Pour les rivières stables, les valeurs chevauchent celles des catégories d'incision et d'exhaussement.

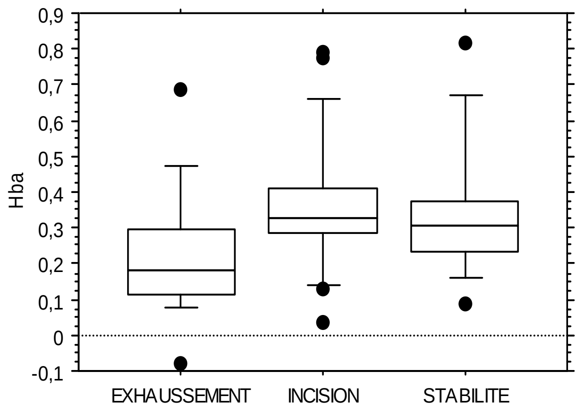


Figure 2.7. Distribution statistique de la variable H_{ba} pour les différents régimes sédimentaires.

Ce phénomène d'enfoncement des chenaux en eau dans les bandes de tressage incisées s'observe aussi par rapport à d'autres unités morphologiques comme les bancs végétalisés et les terrasses. Pour les rivières en incision, un système d'étagement est donc visible (Figure 2.8 A). Pour les rivières en exhaussement, la dénivellation entre les différentes unités de la bande de tressage est faible (Figure 2.8 B).

Cette observation permet d'expliquer une submersion moins fréquente des bancs dans les tresses incisées, qui ont donc tendance à se végétaliser et à se rétracter. Ce mécanisme a été déjà mentionné pour expliquer la rétraction des bandes actives observée dans les torrents des Préalpes du Sud, interprétée comme une conséquence de l'incision des lits (Liébault and Piégay, 2002).

A B



Figure 2.8. (A) Système d'étagement observé dans un secteur incisé de la Bléone amont ; au premier plan, le chenal en eau puis successivement les bancs non végétalisés et la terrasse boisée ; (B) dénivellation faible entre les différentes unités de la bande de tressage observé dans un secteur exhaussé de la Bléone amont (N. Talaska).

L'étude de la largeur de la bande active normalisée (W*) a mis en évidence une occupation significativement plus importante de la bande active dans sa bande naturelle pour les cours d'eau en exhaussement (p=0,0221 ; test U de Mann-Whitney) (Figure 2.9). Ceci rejoint et confirme l'observation précédente (les tresses exhaussées se rétractent moins).

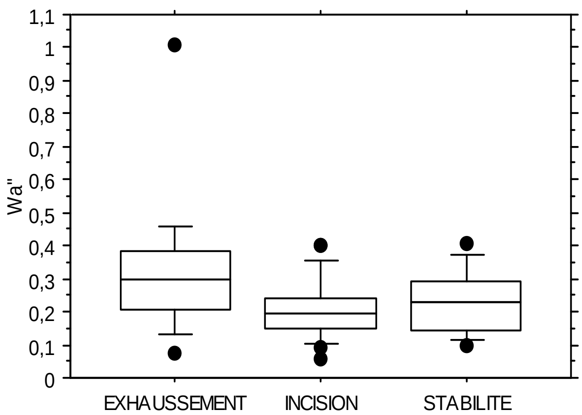


Figure 2.9. Distribution statistique de la variable *W** pour les différents régimes sédimentaires.

Les indices de rugosité montrent des résultats mitigés quant à la discrimination des tresses incisées et exhaussées. L'indice de rugosité de Smith diminue selon un gradient amont-aval (Figure 2.10). Ce gradient déjà démontré par Smith traduit le changement des types de bancs d'amont en aval. A l'amont, il y a une dominance des bancs longitudinaux qui confère au profil en travers plus de relief. Vers l'aval, la proportion de ces bancs diminue au bénéfice des bancs transversaux qui présentent des profils avec moins de relief (Smith, 1970).

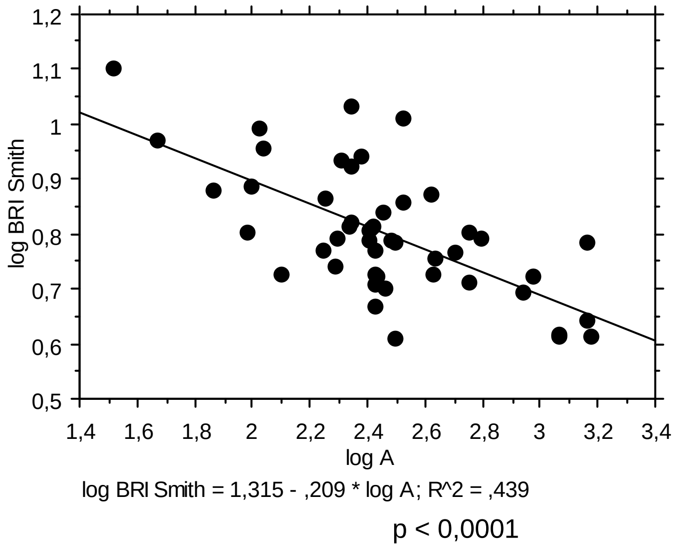


Figure 2.10. Relation entre le BRI de Smith et la superficie drainée (A).

Les valeurs de cet indice ne diffèrent pas significativement entre les différentes catégories de tresses, tout comme celui de Hoey et Sutherland. Ceci corrobore les résultats obtenus en canal expérimental par Germanoski and Schumm (1993). Ils ont démontré qu'en règle générale, le BRI de Smith des rivières en tresses en incision et en exhaussement augmente par rapport à la valeur en stabilité. Pour les rivières en exhaussement, le relief augmente car il y a création de nouveaux bancs; en incision il est augmenté par l'incision du chenal principal dans les bancs.

L'étude de la largeur des différentes unités (chenaux et bancs) n'a pas montrée de différence significative entre les différentes tresses. Dans les études expérimentales en canal, l'augmentation moyenne de la taille des bancs est cependant décrite comme un indicateur morphologique solide des situations d'incision dans les lits graveleux (Germanoski and Schumm, 1993). Ainsi, cette observation ne semble pas être perceptible en étudiant les profils en travers. Une cartographie en plan des unités sur l'échelle d'un tronçon permettrait peut-être d'aboutir à une telle conclusion.

La non linéarité de l'évolution altitudinale des profils en long dans le temps explique la difficulté à définir des indices morphométriques robustes de prédiction du régime sédimentaire. L'étude diachronique du profil en long compare un état initial à un état final mais ne permet pas de mettre en évidence les fluctuations entre les deux états mesurés. Or dans la présente étude, l'analyse diachronique porte sur un pas de temps séculaire. Ainsi, une rivière décrite comme incisée par l'étude diachronique peut être en cours d'exhaussement sans avoir atteint l'état initial et inversement. Cette rivière présentera donc une morphologie caractéristique d'un régime sédimentaire excédentaire alors qu'elle s'est incisée sur le temps long.

3 . Granulométrie de surface

En collectant des données granulométriques, nous pensions de pouvoir différencier nettement les différents types de régimes sédimentaires en faisant l'hypothèse d'une granulométrie plus grossière en contexte d'incision. En-effet, le pavage du lit qui caractérise les régimes déficitaires se traduit par une augmentation de la taille des particules de surface.

L'examen des distributions granulométriques ne révèlent pas de différences significatives entre les trois types de régimes sédimentaires (Figure 2.11 et Figure 2.12). De même que pour l'analyse des distributions dans chaque espace de la bande alluviale (transect entier, bande active et semi-active). La catégorisation des tronçons repose sur l'analyse diachronique des profils en long à un pas de temps séculaire. Il est possible que la granulométrie réponde plus rapidement aux changements de régime sédimentaire alors que le profil en long s'ajuste sur un temps plus long. La granulométrie révèle peut-être des changements récents de régime sédimentaire non pris en compte dans l'analyse diachronique au pas de temps séculaire.

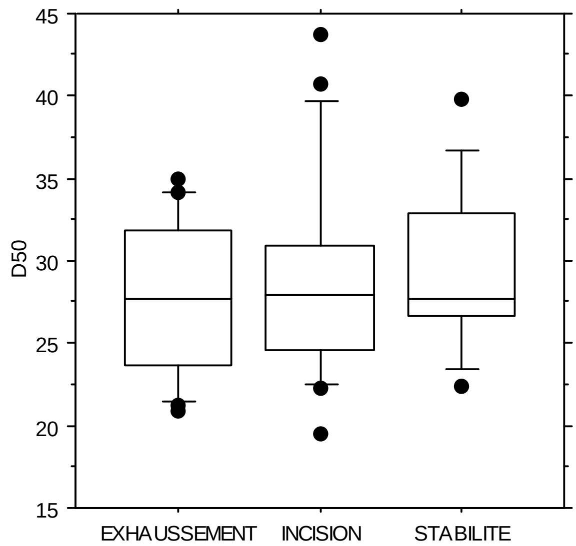


Figure 2.11. Distribution de la taille médiane des particules selon la catégorie du transect.

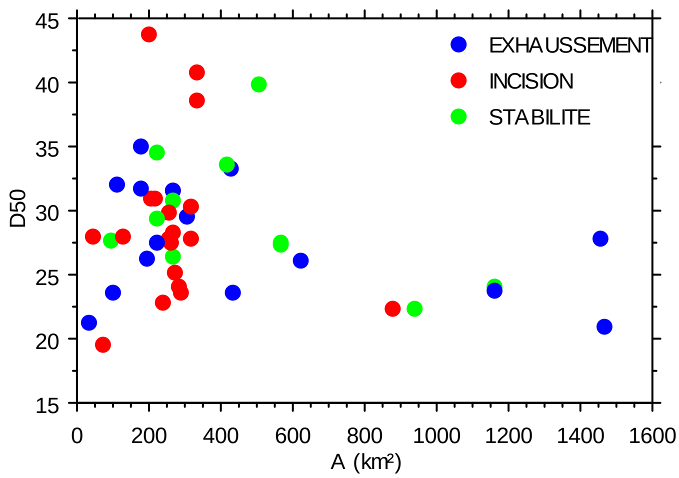


Figure 2.12. Relation entre le taille médiane des particules et la superficie drainée (A).

PARTIE 3. CARACTERISATION DE LA STRUCTURE PLANIMETRIQUE DU CORRIDOR FLUVIAL

Rédacteurs : B. Belletti, A. Hervouet, S. Dufour, H. Piégay

Dans cette partie nous présentons les résultats relatifs à la caractérisation de la structure planimétrique des 50 tronçons à l'échelle de la bande active et à celle des habitats aquatiques ; l'objectif est de comprendre les mécanismes à la base de la structure paysagère des tresses et la dynamique de ces structures afin d'identifier et définir une organisation spatiale au niveau régional. De plus nous analyserons à une échelle multi-temporelle l'évolution du corridor fluvial en termes de taux de colonisation de la végétation.

A . ANALYSE DES ORTHOPHOTOS

1 . Caractéristiques du jeu de données

Données de contrôle hydromorphologique

On résume ici les variables de contrôle hydromorphologique que nous avons pris en compte dans la caractérisation de la mosaïque paysagère de nos tronçons et des habitats aquatiques :

- les coordonnées kilométriques de latitude et longitude (km) ;
- la taille du bassin versant (km²) ;
- le fond de vallée ;
- la pente (m/km) ;
- l'altitude (m) ;
- le contexte hydrologique (cf. suivant).

La description de la variabilité de ces paramètres au sein du notre jeu de données a été présentée lors de la caractérisation de l'échantillon (p. 35).

Contexte hydrologique

La Figure 3.1 montre la fréquence de dépassement du débit relevé le jour de la prise de vue des photos (A) et indique que pendant la même saison de prise de vue (été), les tronçons présentent des états hydrologiques contrastés : la fréquence varie de 0,05 pour le Buech (débit dépassé 95% des jours de l'année, débit donc très faible) à un maximum de 0,8 pour le Giffre (débit dépassé 20% du temps, débit de hautes eaux). La variabilité des fréquences est cohérente avec les régimes hydrologiques décrits à p. 38. Ainsi, étant donné que les campagnes d'acquisition des photos sont généralement conduites pendant l'été (juin-juillet) les tronçons à influence glacio-nivale (pro-glaciaires et des Alpes internes) sont en situation de hautes eaux (c'est-à-dire avec une fréquence élevée), contrairement aux tronçons du sud qui enregistrent des fréquences typiques de basses eaux.

Ce résultat souligne la nécessité de prendre en compte cette variabilité dans l'analyse géographique des rivières en tresses à partir de photos dans la mesure où il n'est pas possible de comparer les cours d'eau pour un même débit.

De la même manière, nous avons présenté sur la figure Figure 3.1 B et C les tronçons en fonction de la période de temps qui les sépare de la dernière crue morphogène (Q10 – Q5). Très clairement, les tresses rhodaniennes et maritimes ont enregistré plus récemment une crue décennale comparativement aux tresses durranciennes, de Haute-Savoie ou encore de l'Oisans. Ces observation seront évidemment à prendre en compte lorsque nous interpréterons les caractéristiques géométriques de la bande active et de la bande fluviale.

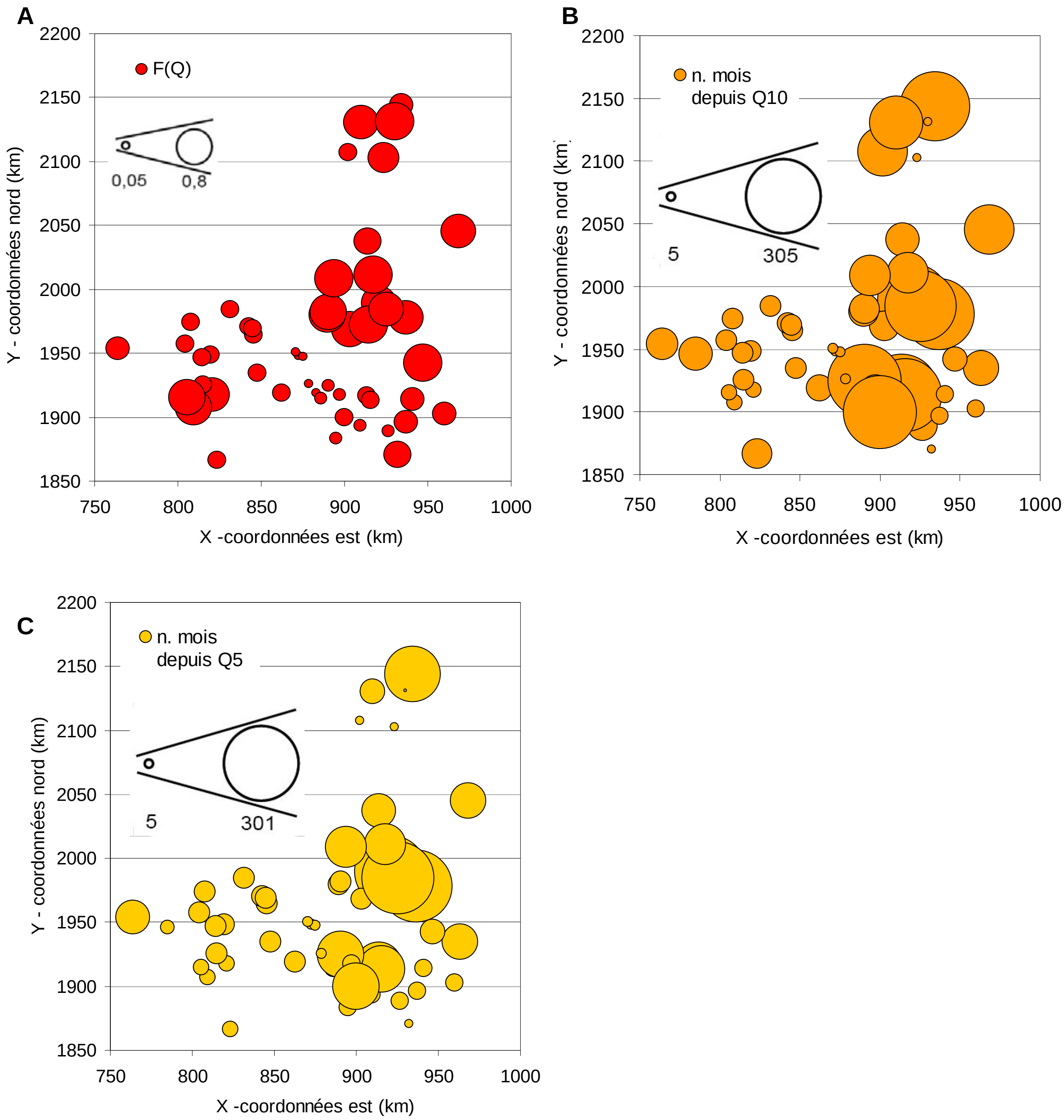


Figure 3.1. Débits caractérisant les 55 tronçons : A – fréquence des débits le jour de l'acquisition ; B et C – nombre de mois séparant le jour de l'acquisition de la dernière crue morphogène, respectivement Q10 et Q5. Les axes X et Y représentent les cordonnées N et E kilométriques.

On présente ici brièvement les caractéristiques de notre jeu de donnée résultant de la procédure de classification des orthophotographies aériennes. Leur extraction et définition sont décrites au chapitre méthode (p. 28)

Les caractéristiques du corridor prises en compte dans cette étude sont :

- la largeur de bande active et de la bande fluviale (normalisées par la taille de bassin versant, p. 54) ;
- le taux de sinuosité de la bande fluviale ;
- les îles en termes de sourface occupée (% d'îles végétalisées ; % d'îles boisées matures ou pionnières dans la bande fluviale) et en termes de fréquence (nombre par kilomètre carré).

ci-dessous, leur représentation graphique.

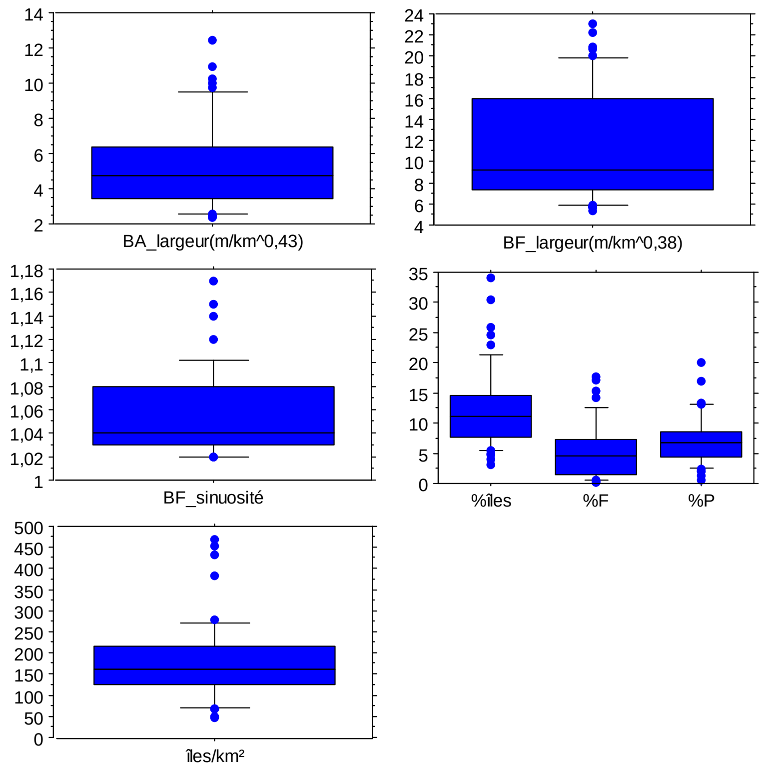


Figure 3.2. Les données caractéristiques du corridor fluvial : largeur de bande active (BA) normalisée par la taille du bassin versant (m/km^0.43) ; largeur de bande fluviale (BF) normalisée par la taille du bassin versant (m/km^0.38) ; sinuosité de bande fluviale ; pourcentage d'îles végétalisées, d'îles boisées matures (%F) et d'îles pionnières (%P) ; nombre d'îles par kilomètre carré.

Les données relatives aux chenaux en eau au sein de la bande active sont (Figure 3.3) :

- le taux de tressage (total et actif) et la différence entre eux ;
- la sinuosité et l'amplitude du chenal principal ;

- la position du chenal principal dans la bande active ;
- la zone de tressage active et sa position dans la bande active.

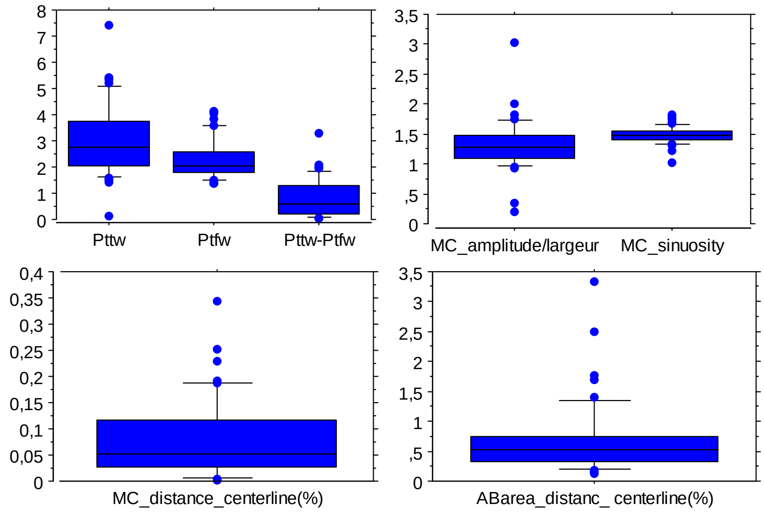


Figure 3.3. Les données caractéristiques des chenaux en eau : indices de tressage total (Pttw), actif (Ptfw) et la différence entre les deux (Pttw-Ptfw) ; l'amplitude du chenal principal (MC) normalisée par la largeur du chenal principal et la sinuosité du chenal principal ; la position du chenal principal (MC) dans la bande active (en pourcentage de surface de demi bande active occupée) ; la position de la zone de tressage active (ABarea) dans la bande active (en pourcentage de surface de demi bande active occupée).

Les caractéristiques des habitats aquatiques (Figure 3.4) sont représentées en termes de :

- distribution de la proportion entre habitats ;
- indice de diversité de Shannon (H').

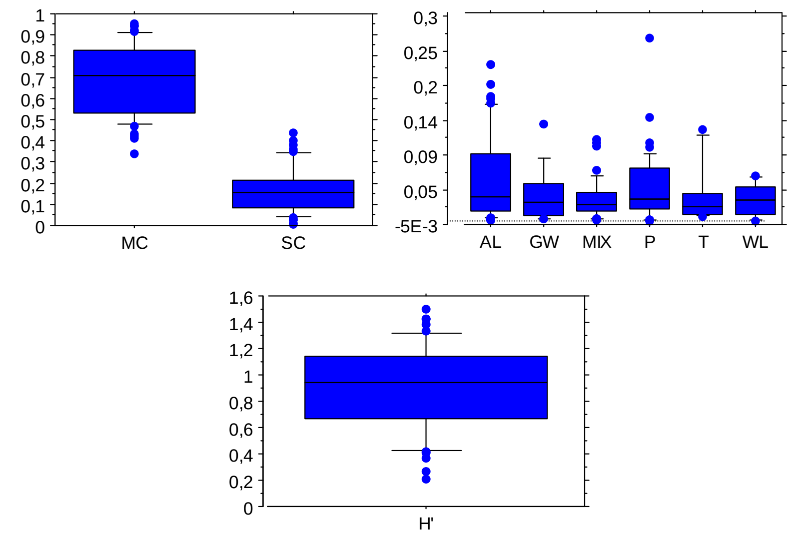


Figure 3.4. Les données caractéristiques des habitats aquatiques : le pourcentage de surface occupée du chenal principal (MC) et des chenaux secondaires (SC) ; le pourcentage de surface occupée des chenaux déconnectés (AL, chenaux alluviaux, connectés uniquement à l'aval ; GW, chenaux phréatiques ; MIX, chenaux connectés seulement à l'amont ; P, bras déconnectés ; T, affluents ; WL, zones humides) ; l'indice de diversité de Shannon (H').

2 . Caractéristiques planimétriques de la bande active (BA)

On fait ici le lien entre les caractéristiques de la tresse, les apports sédimentaires provenant du bassin versant et l'histoire hydrologique récente. Dans ce contexte, on analyse la largeur de la bande active et de la bande fluviale et la dynamique végétale (îles).

On fait ainsi l'hypothèse que la largeur de la bande active est contrôlée par le régime des crues avec une diminution progressive de cette largeur au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la dernière crue morphogène.

A l'instar de Piégay *et al.* (2009), nous observons que la surface du bassin versant joue un rôle dans la détermination de la largeur de la bande active (Figure 3.5 - A) ; dans cette relation, la surface du bassin versant représente la quantité de sédiments disponibles pour la construction de la bande active. Cette relation peut ainsi être utilisée pour la normalisation des valeurs de largeur de bande active (ici « bande active normalisée ») afin de permettre la comparaison entre sites et s'affranchir de l'effet taille.

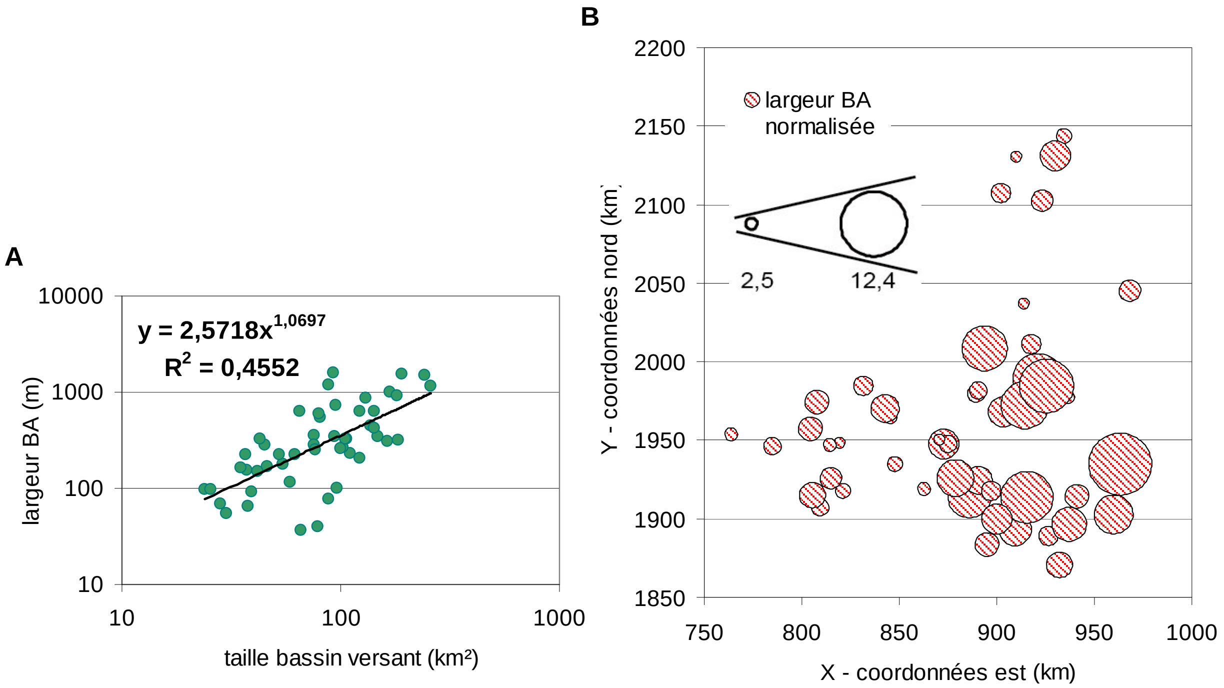


Figure 3.5. A – Relation statistique entre la largeur de la bande active (m) et la taille du bassin versant (km²). Cartographie de la largeur normalisée de bande active observée sur les tronçons d'étude.

La distribution géographique de la largeur normalisée (Figure 3.5 - B) souligne une organisation assez claire :

1. opposition ouest-est des rivières des pré-Alpes du sud qui semble en contradiction avec l'histoire hydrologique récente. Les rivières duranciennes qui n'ont pas subi de crues depuis longtemps étant plus larges que les rivières du corridor rhodanien.

2. Les rivières de haute montagne (Oisans) qui n'ont pas subi de crues depuis longtemps sont également restées très larges. Seules les rivières de Haute-Savoie ont une bande active très étroite et n'ont pas enregistré de crues depuis longtemps.

En 2009, en se basant sur l'étude de l'évolution de la mobilité latérale de 29 tronçons en tresses entre 1975 et 2000, Piégay *et al.* (2009) ont également fait l'hypothèse que la chronologie des crues avait une influence significative sur la largeur de la bande active observée à un instant t. Selon eux de plus grandes largeurs de bande active devraient être observées sur les tronçons qui ont enregistré des crues morphogènes récentes, et vice-versa, des bandes actives plus étroites sur les secteurs pour les sites qui n'ont pas subi de crues depuis longtemps. Nous avons également observé que le taux de sinuosité de la bande fluviale est lui-même lié à la largeur de la bande active et donc à la durée de la période séparant l'observé de la dernière crue morphogène.

Dans le cas présent, nous observons une bande active normalisée plus large et moins sinueuse sur les tronçons n'ayant pas enregistré de crues depuis longtemps (Figure 3.6*, cercle rouge à gauche), et, au contraire, là où il y a récemment eu des crues une bande active plus étroite et plus sinueuse (Figure 3.6**, cercle rouge à droite).

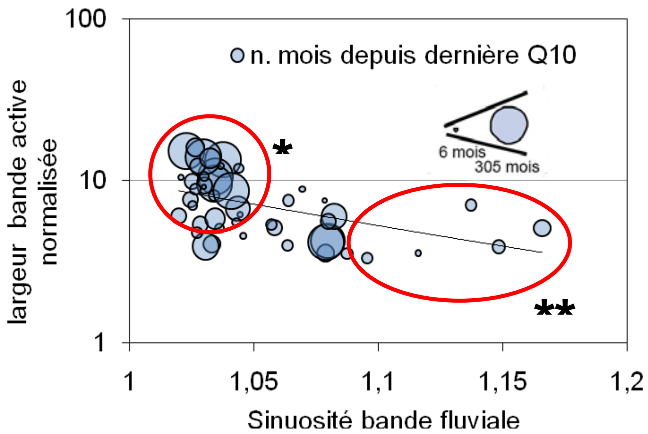


Figure 3.6 . Relation statistique entre la largeur de la bande active normalisée (m/km^0,43) et la sinuosité de la bande fluviale ; les cercles proportionnels représentent le nombre de mois depuis la dernière Q_{10} (récurrence décennale).

L'infirmation de nos hypothèses initiales peut s'expliquer par le fait que même si à une échelle locale il est démontré que l'élargissement et le rétrécissement sont sous le contrôle des crues (Piégay et al., 2003 ; Toone, 2009), la géométrie du chenal et les patrons d'ajustement temporels des tronçons peuvent répondre différemment aux événements hydrologiques et sont contrôlés par d'autres déterminants biophysiques. Par exemple, la croissance de la végétation qui répond elle-même aux conditions locales d'habitat (type de sédiments, granulométrie, caractéristiques du climat et de l'hydrologie), peut elle-même jouer un rôle variable géographiquement et que l'on sous-estime peut-être. C'est à la suite de ces résultats que nous avons décidé d'engager une analyse interannuelle de la croissance de la végétation dans la bande fluviale (Chapitre II - Partie 3. B .), en calant nos observations par rapport à des crues significatives connues afin de comprendre le patron temporel de recolonisation et voir si celui-ci se différencie géographiquement.

Les rivières pro-glaciaires de l'Oisans par exemple n'ont pas enregistré la même vitesse de recolonisation végétale. N'étant pas ou peu été intégré dans le jeu de données de Piégay et al. (2009), ce phénomène géographique n'avait alors pas été identifié.

Afin d'analyser le lien entre la dynamique de la bande active/fluviale et les conditions hydrologiques nous avons également pris en compte les unités végétales présentes dans la bande fluviale (iles et taches de végétation). On constat clairement une structure spatiale (Figure 3.7 – A et B) qui semble être liée avec l'histoire hydrologique (Figure 3.1). Les tresses rhodaniennes et les tresse des Alpes maritimes qui ont enregistré des crues récemment, présentent peu d'îlots boisés matures et des îlots plus pionniers comparativement aux tresses durancienne, de Haute-Savoie et de l'Oisans qui elles n'ont pas enregistré des crues morphogènes récentes.

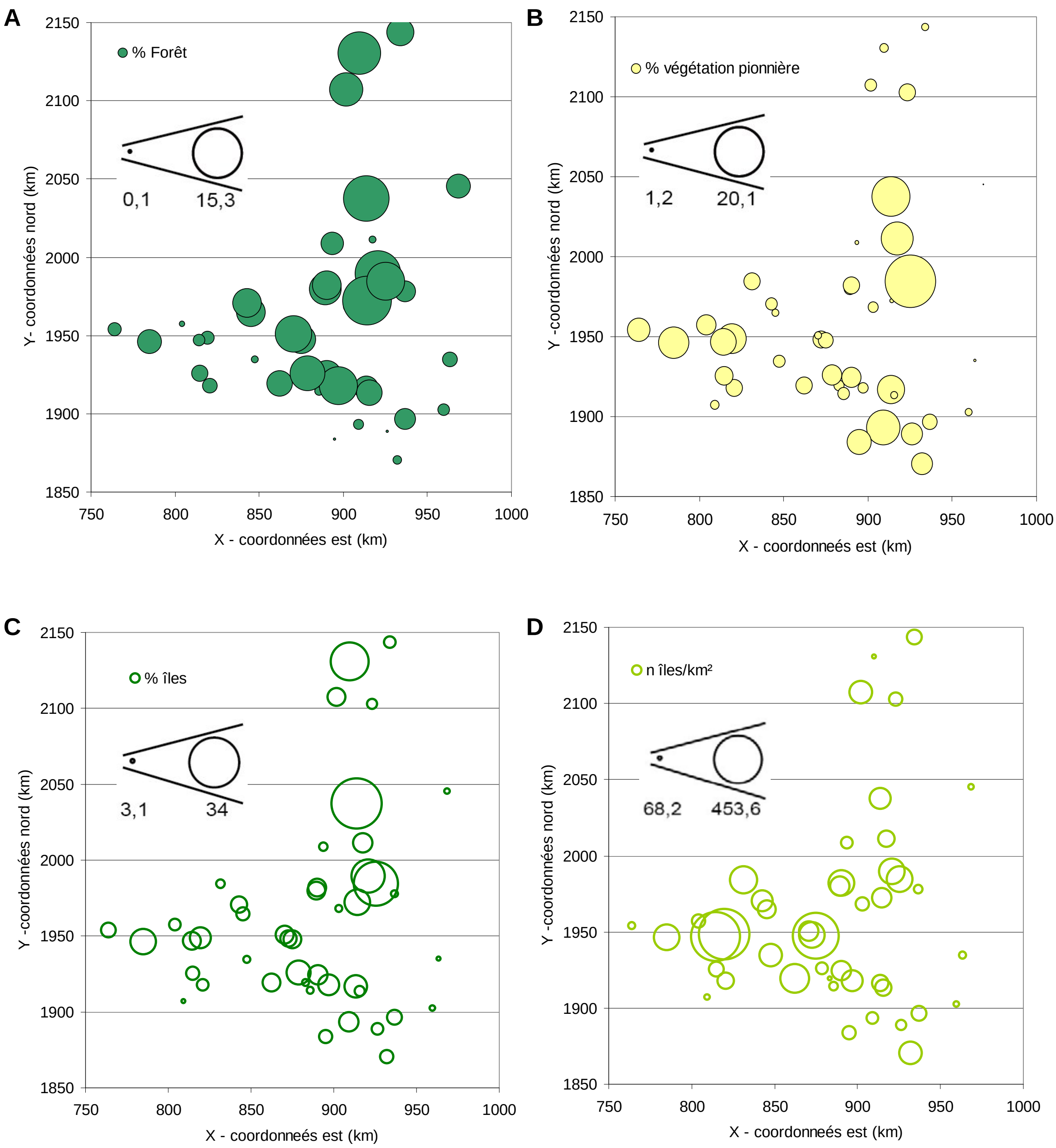


Figure 3.7. Cartographie des unités végétales observées sur l'ensemble des tronçons : A - % d'îles boisées matures ; B - % d'îles pionnières ; C - % d'îles ; D – nombre d'îles par km^2. Les axes X et Y représentent les coordonnées kilométriques.

Si on observe la distribution totale des îles végétalisées (boisées matures et pionnières confondues, Figure 3.7 - C), on constate que les tronçons des Alpes du sud (rhodaniens, duranciens et maritimes)

sont moins végétalisés par rapport aux tronçons de l'Oisans et de Haute-Savoie ; une des raisons peut résider dans la variable climatique qui complique l'installation d'une végétation durable en zone méditerranéenne. Toutefois on peut distinguer une opposition entre les tronçons des Alpes du sud-est (rhodaniens) et du sud-ouest (duranciens et maritimes) : si on compare la cartographie de la distribution totale des îles (Figure 3.7 – C) et la distribution d'îles par tronçons (Figure 3.7 – D) nous constatons que les tronçons duranciens et des Alpes maritimes ont peu d'îles, en comparaison aux tronçons rhodaniens où on observe une plus grande variabilité régionale et des tronçons plutôt végétalisés (en nombre par kilomètre carré). Au contraire les îles végétalisées de l'Oisans et de Haute-Savoie sont en général plus grandes en taille mais peu nombreuses au sein d'un tronçon.

En ce qui concerne les habitats terrestres proprement dits et leur structure paysagère, l'analyse sera finalisée en année 2 intégrant notamment la comparaison des images récentes avec celles des années 50.

3 . Caractéristiques des chenaux en eau au sein de la bande active

Les indices de tressage

L'objectif de cette partie est d'explorer le patron des chenaux en eau au sein de la bande active.

On fait ici l'hypothèese que le taux de tressage (Chapitre I - Partie 3. B . 3 .) dépend du débit au moment de l'observation (par ex. Ashmore 1991, 2009; Egozi et Ashmore, 2008 ; Ferguson 1993; Bertoldi et al., 2009). Si toutes les tresses sont semblables régionalement, le taux est d'autant plus fort que le débit est élévé.

L'intensité du tressage, par définition, décrit la complexité du patron des chenaux dans les rivières en tresses pour un débit à un instant t (Egozi & Ashmore, 2008) ; son utilisation classique comme indicateur du patron de tressage reste à valider, notamment à l'échelle régionale. Le tressage est il lié au débit au moment de l'observé ou à d'autres facteurs locaux caractérisant la bande alluviale elle-même? En d'autres termes, pour un même débit, deux tronçons peuvent avoir un taux de tressage totalement différent.

Afin de permettre la comparaison entre tronçons, nous avons utilisé les fréquences de dépassement de débit enregistrées au moment de l'observation car le débit lui-même est influencé par la taille du système et est d'ailleurs lié à la taille du bassin versant ($r^2 = 0.16$) alors que les états hydrologiques observés sont pourtant très différents.

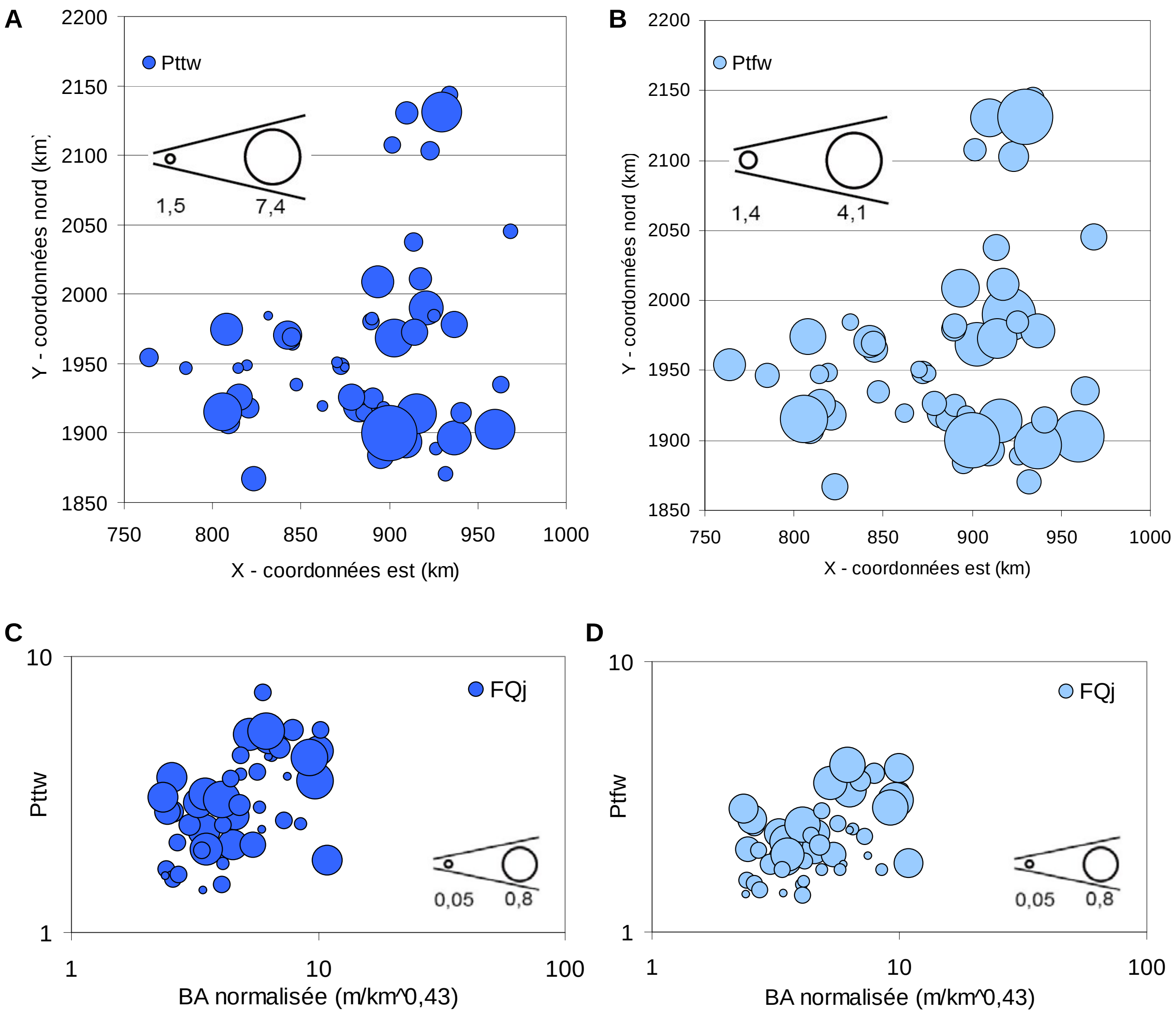


Figure 3.8 . Distribution spatiale des indices de tressage (A, total ; B, actif) et relation statistique entre les indice de tressage et la largeur de la bande active normalisée (C, indice de tressage total ; D, indice de tressage actif).

Contrairement à l'hypothèse initiale le taux de tressage, qu'il s'agit de Pttw (total) ou Ptfw (actif) (Figure 3.8 – A et B), présente une grande variabilité géographique. Au sein même d'une region où les frequences du débit sont pourtant assez homogènes, on observe une différence inter-tronçons significative (tresses rhodaniennes ou tresses duranciennes). De plus le taux de tressage total ne répond que partiellement au débit (FQj; $r^2 = 0.005$); le taux de tressage actif (Ptfw) est en revanche plus significativement lié à la fréquence du débit (FQj; $r^2 = 0.21$).

La faible relation existant entre l'intensité du tressage et les variables hydrologiques peut être expliquée par plusieurs facteurs :

- contribution variable de la nappe phréatique dans la structuration et l'alimentation du réseau hydrographique (cela explique que l'indice de tressage total n'est pas lié au FQj);
- la morphologie des tresses influencée par des « vagues de sédiments » (Griffiths, 1979, Ashmore 1985, 1987, 1991), qui se produisent localement et irrégulièrement dans le temps.

Nous supposons qu'un indicateur de l'occurrence de ces « vagues » peut être representé par la largeur de la bande active normalisée. On a donc vérifié le rapport entre cette dernière et l'intensité de tressage. En effet, il existe une bonne relation entre l'intensité de tressage et la largeur de la bande active normalisée (Figure 3.8 – C et D); de plus, il semble que, pour une même largeur de bande active, les tronçons avec une intensité de tressage plus élevée (à la date de l'observation) ont des débits supérieurs (Figure 3.8 – D)

La différence entre les deux indices de tressage, nous permet d'estimer l'influence de ces facteurs sur l'intensité du tressage, notamment l'apport de la nappe phréatique qui met en eau sur les marges de la bande active des chenaux alluviaux déconnectés; la distribution spatiale de ce paramètre au sein du bassin RMC (Figure 3.9) montre une assez belle régionalisation des sites à influence « phréatique ». La partie Est des tresses duranciennes se distingue très nettement des tresses pro-glaciaires de l'Oisans, de Haute-Savoie et dans une moindre mesure des tresses rhodaniennes et des Alpes Maritimes. Une différence locale inter-tronçons est aussi observée dans les différents ensembles régionaux.

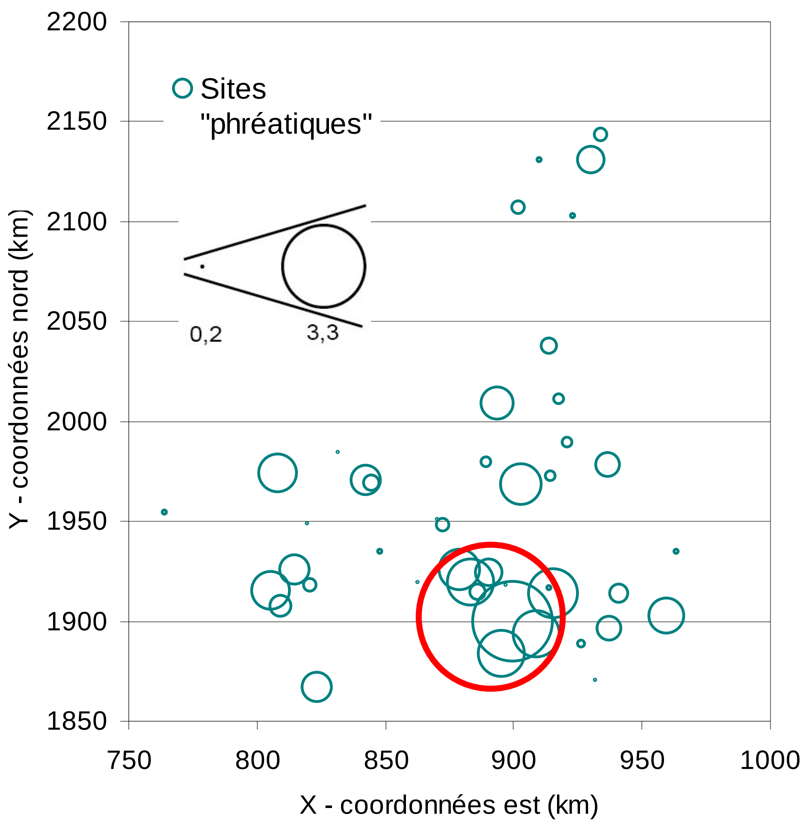


Figure 3.9. Distribution géographique des sites potentiellement phréatiques. L'indice est calculé comme soustraction entre les indices de tressage total et actif. Le cercle rouge indique les sites alimentés par la nappe phréatique.

De plus, l'observation des images aériennes indique une forte variabilité interne du taux de tressage même (Figure 3.10). Nous avons procédé à l'analyse du taux de tressage en sous-tronçons (chaque tronçon étant subdivisé en 6 tronçons de même longueur), en commençant par un échantillon de sites individualisés parmi ceux qui montraient, par simple observation photographique, une forte variabilité intra-site du patron de tressage.



Figure 3.10. Exemple de 2 tronçons où nous avons effectué le calcul de l'intensité du tressage par sous-tronçons (6 sous-tronçons par site). A noter la diversité longitudinale du patron de tressage.

Suite à ces observations nous avons prévu de finaliser les analyses en sous-tronçons sur l'ensemble des sites où les sous-tronçons ont été identifiés par largeur homogène de bande active (Chapitre III - Partie 2. B . 1 .). Ce travail est en cours.

Cette étude permet de souligner ainsi les éléments suivants :

- le taux de tressage est un indicateur moins lié au débit que prévu et plus lié aux conditions de transfert des sédiments à un instant t ou à l'affleurement de la nappe phréatique. Il est donc judicieux distinguer le tressage total du tressage actif afin de mettre en evidence ce dernier facteur.
- d'après nos observations, il semble également délicat d'utiliser pour caractériser un tronçon un taux moyen de tressage compte tenu de sa forte variabilité interne au sein d'un corridor de bane active pourtant caractérisé par une largeur constante (Figure 3.10).

Le taux de tressage ne dépend donc pas uniquement du débit au moment de l'observé mais bien de la morphologie de la tresse. Dans ce contexte, d'autres indicateurs géométriques peuvent être analysés et rendre compte de l'état morphologique du chenal. Nous avons ainsi étudié de manière exploratoire le patron géographique de deux autres indicateurs décrivant la planimétrie des tresses :

- la sinuosité du chenal principal et plus précisément sa longueur d'onde et son amplitude par rapport à la bande active ;
- la position du chenal principal et de la tresse (zone de tressage active) dans la bande active.

Ce qu'on souhaite mettre en évidence ici c'est l'influence des remaniements des crues sur le tracé en plan de la tresse et de son bras principal.

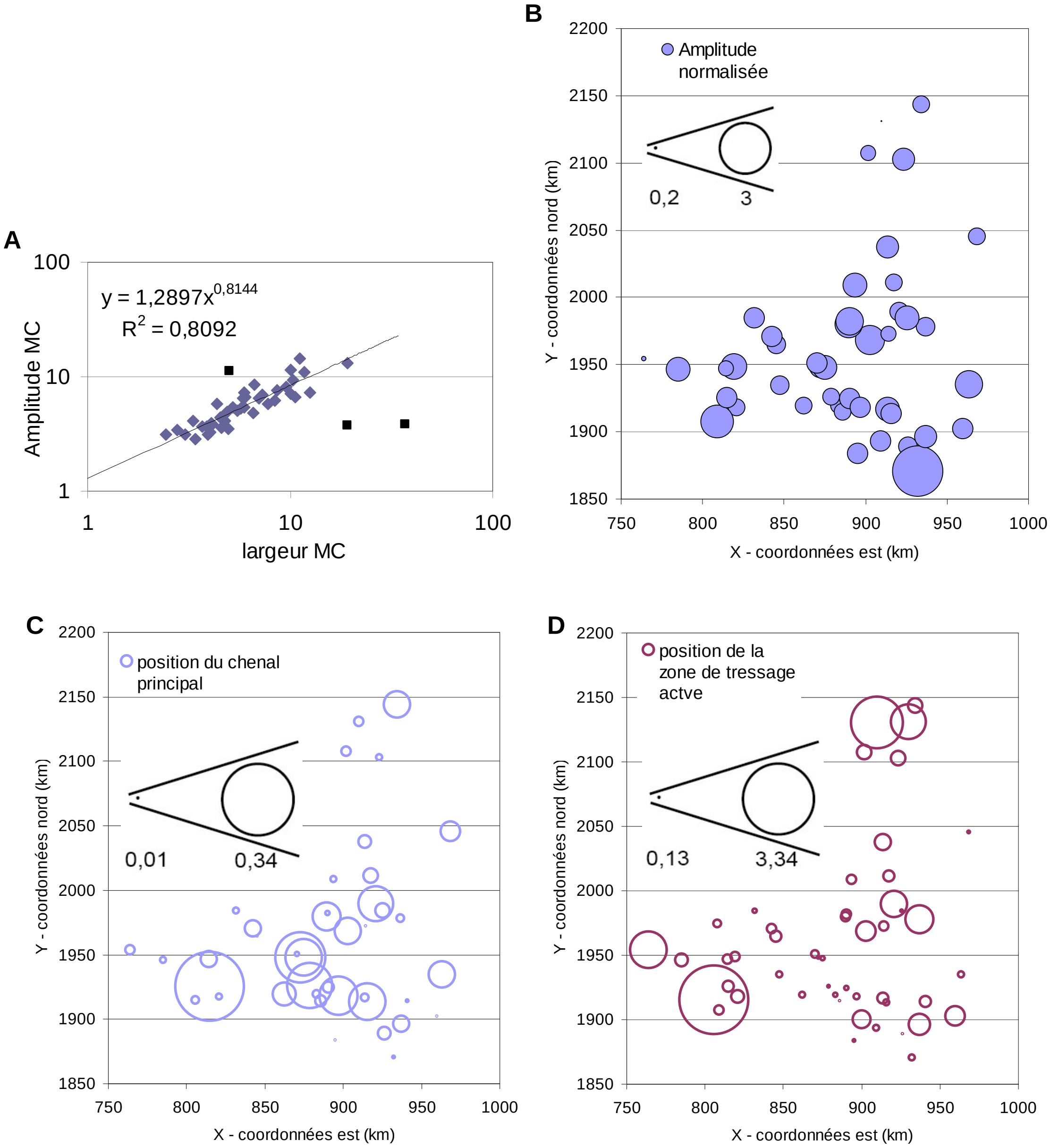


Figure 3.11. Indicateurs de l’agencement planimétriques de chenaux en eau dans la bande active. A - Relation statistique caractérisant les amplitudes en fonction de la largeur du chenal principal. B - Distribution spatiale des amplitudes normalisées par la largeur du chenal principal selon la relation en A ; les trois points en noir représentent 3 rivières (l’Ardeche_dis, l’Arve_dis et le Jabron_3) qui ne suivent pas la loi. C et D - Cartographie de la position du bras principal et de la zone de tressage active respectivement dans la bande active.

Dans la Figure 3.11-B nous observons la distribution spatiale des amplitudes relatives du chenal principal obtenues selon la loi présentée en Figure 3.11-A. Pour les rivières naturelles les valeurs d’amplitude fluctuent entre 5 et 20 fois la largeur du chenal principal ; les rivières plus actives, comme les rivières en tresses ont normalement des valeurs d’amplitude faibles ; notre jeu de données révèle d’une manière précise cette relation (Figure 3.11 - A). Toutefois trois de nos tronçons ne suivent pas cette loi classique : ce sont deux rivières où le patron de tressage a disparu au cours des derniers siècles (l’Ardeche et l’Arve) et le Jabron_3, situé dans les Alpes du sud-est. Les deux premières sont peu sinueuses par rapport à la largeur de leur chenal principal ; inversement le Jabron_3 est plus sinueux. Cependant nous n’observons pas une structuration spatiale des amplitude relatives dans notre jeu de données (Figure 3.11 - B). On ne distingue pas non plus une organisation régionale concernant les indicateurs de position du bras principal (Figure 3.11 - C) et de la zone de tressage active (Figure 3.11 - D) dans la bande active. De fait, ni la sinuosité du bras principal, ni la position de ce même bras ou de la zone de tressage au sein de la bande active ne semblent pas être liées à la période séparant l’observé de la dernière crue morphogène, (respectivement $r^2 = 0.02$, $r^2 = 0,07$ $r^2 = 0,007$ en relation à Q10).

4 . Les habitats aquatiques

Le réseau de chenaux se traduit à l'échelle d'un tronçon en tresses par une grande richesse d'habitats aquatiques : on peut retrouver une combinaison de chenaux permanents et éphémères dans les plaines glaciaires (Tockner and Malard, 2003 ; Malard *et al*,. 2006) ou la coexistence de chenaux permanents, semi-connectés et déconnectés en zone de piémont (Van der Nat *et al.,* 2003 ; Karaus, 2004 ; Karaus et *al.*, 2005, Tockner *et al.*, 2006) alimentés à la fois en surface et par la nappe phréatique.

Comme on l'observe dans le graphique ci-dessous (Figure 3.12), il existe une structure d'habitats aquatiques très différenciés entre tronçons.

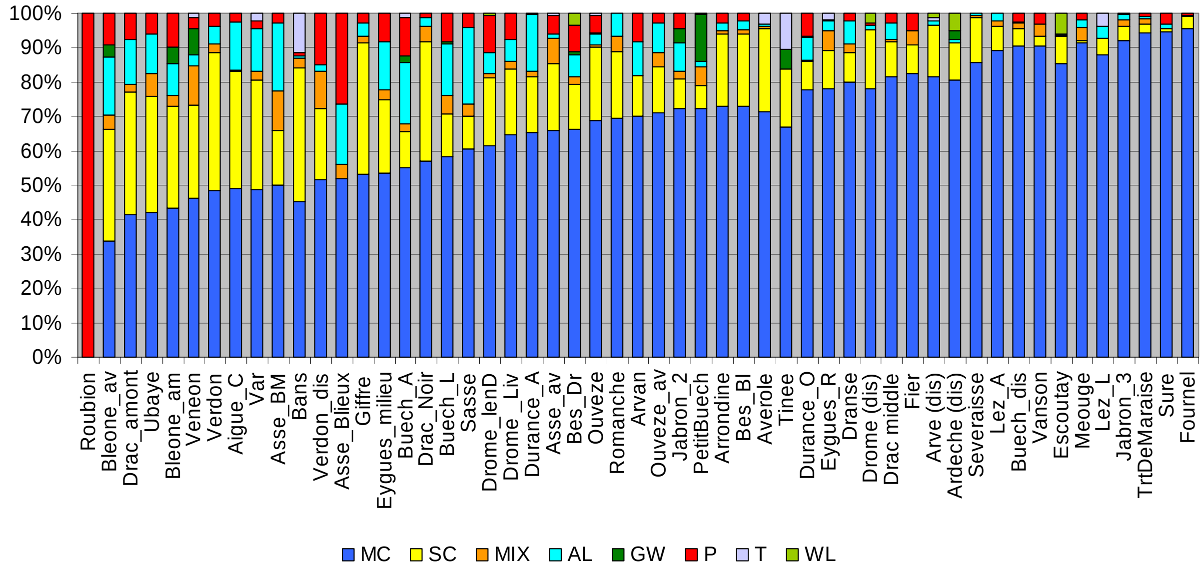


Figure 3.12. Distribution de la proportion des habitats aquatiques sur l'ensemble des tronçons d'étude (en surface). Les habitats représentés : MC, chenal principal ; SC, chenaux secondaires ; MIX, chenaux connectés uniquement à l'amont ; AL, chenaux alluviaux, connectés seulement à l'aval ; GW, chenaux phréatiques ; P, chenaux déconnectés ; T, affluents ; WL, zones humides.

Pour l'ensemble des tronçons, l'habitat dominant est le chenal principal. Dans ce contexte le Roubion représente une vraie particularité car au moment de l'observation sur ce tronçon il y avait seulement quelque étang isolé et l'absence totale d'un réseau de chenaux actifs. En ce qui concerne d'autres sites, seul un chenal principal unique caractérise ainsi le Fournel ou le Torrent de Maraise, pourtant observés pour un débit élevé. Inversement l'Asse de Blieux présente une plus forte diversité d'habitats, le chenal principal n'occupant alors que 50% de la surface totale en eau. Cette même observation est valable pour la Bléone (aval et amont) ainsi que pour le Var, le Drac amont, le Verdon et le Vénéon. Ceci peut indiquer une contribution variable de la nappe phréatique dans la structuration et l'alimentation du réseau hydrographique *in situ* qui expliquerait l'absence d'une relation entre le taux de tressage et l'état hydrologique du tronçon observé.

La relation positive entre la diversité des habitats, représentée par l'indice de Shannon (H'), et le taux de tressage total (Pttw, Figure 3.13 – A), montre, comme cela était attendu, qu'une augmentation de l'intensité de tressage se traduit en une diversité plus élevée des habitats aquatiques, c'est-à-dire que différents types de chenaux se mettent en eau. Pourtant, comme pour le taux de tressage, la diversité des habitats n'est pas liée à la fréquence du débit au moment de l'observation (Figure 3.13 - B) ; encore une fois on observe aucune relation à l'échelle régionale entre l'organisation des habitats aquatiques dans la tresse et la variable hydrologique. De plus, il ne semble pas exister une organisation spatiale de la diversité des habitats même au sein du bassin RMC ; toutefois nous pouvons observer un « hot spot » de diversité des habitats correspondant aux tronçons situés dans la partie ouest des Alpes du sud-est (Figure 3.13 - C, rivières duranciennes), où on avait aussi observé une importante contribution de la nappe phréatique dans l'alimentation des chenaux en eau (Figure 3.9), ce qui est une observation tout à fait originale qui devrait avoir des conséquences importants en terme de stratégie e préservation.

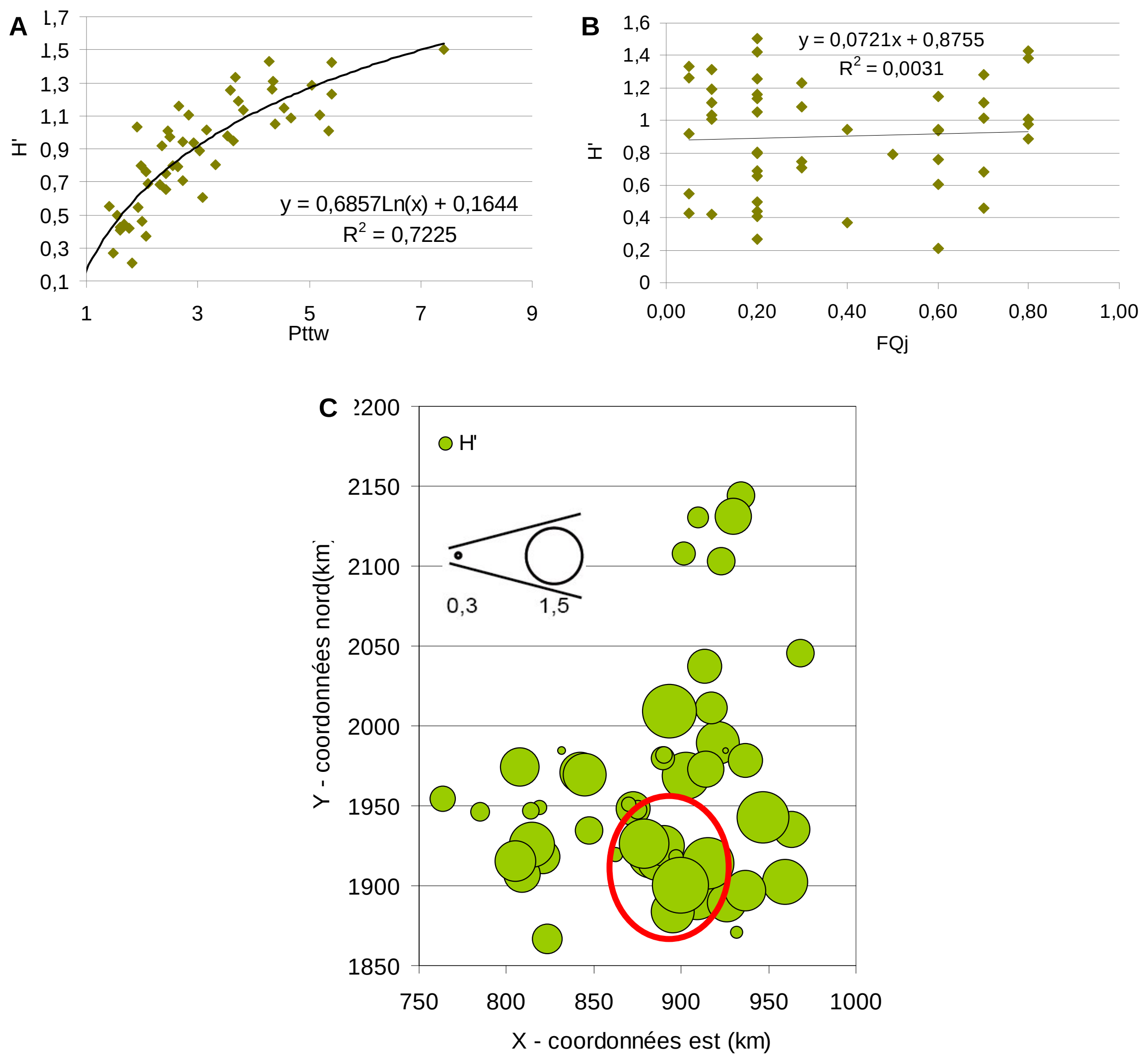


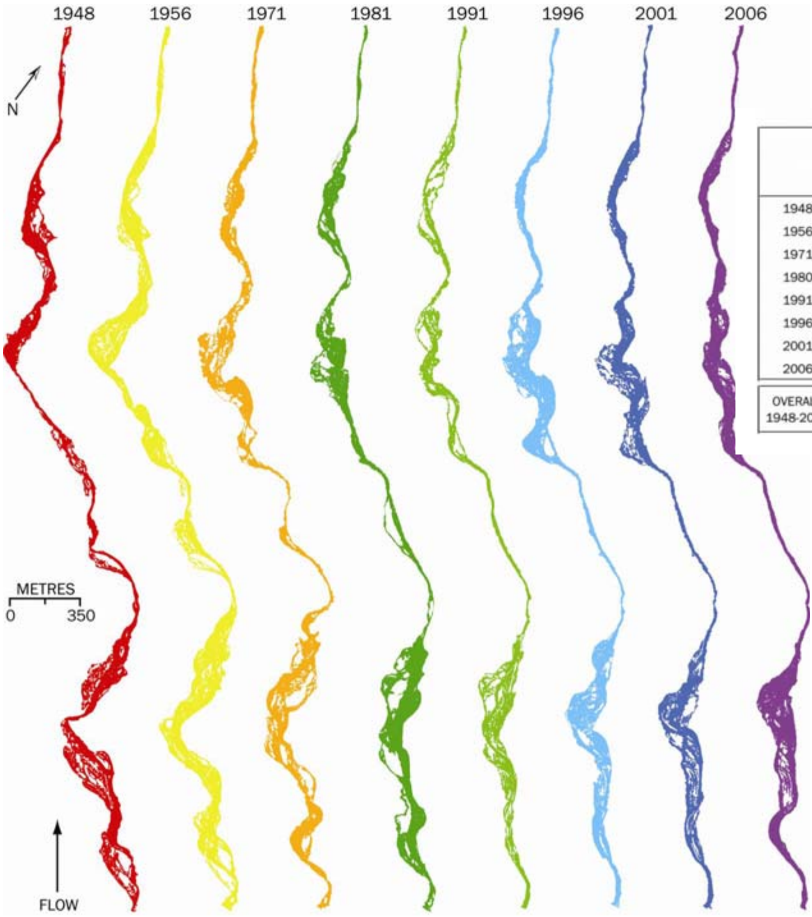
Figure 3.13. A – Relation logarithmique entre l'indice de diversité de Shannon (H') et le taux de tressage total (Pttw). B - Rapport entre l'indice de diversité de Shannon (H') et la fréquence de dépassement du débit observé le jour de la prise de vue. C – Cartographie de l'indice de diversité de Shannon (H') sur l'ensemble des tronçons d'étude ; le cercle rouge indique la zone de diversité d'habitats maximale.

B . REPONSE DE LA BANDE ACTIVE/FLUVIALE AUX EPISODES DE CRUES

L'objectif de cette partie est d'analyser la dynamique de colonisation et d'expansion végétale des bandes fluviales des rivières en tresses à partir d'images satellitaires et à très haute résolution afin de mettre au jour la variabilité de cette dynamique au niveau régional.

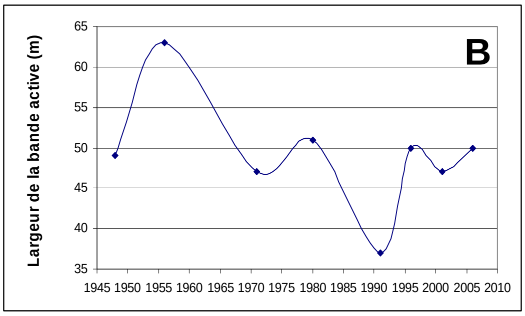
Ces réflexions sont alimentées par les travaux récents de Toone (2009) qui a montré sur la Drôme qu'après chaque grande crue (1951, 1978, 1994, 2003), on observe un élargissement du lit suivi d'une rétraction. Malgré tout, la vitesse du processus et sa variabilité régionale ne sont pas encore comprises. L'analyse de l'évolution de la bande active entre 1948 et 2006 a largement bénéficié d'un bon positionnement des clichés dans la série chronologique des crues. De fait, on voit bien le rôle que celles-ci jouent dans le processus de respiration latérale du lit. La Figure 3.14 - A donne une image générale de l'évolution du lit entre 1948 et 2006 entre le pont de Luc et le pont de Recoubeau. On constate notamment que les alternances tresses / chenal unique ne sont pas stables au cours du temps. L'analyse détaillée de l'évolution de ce secteur permet de mettre en lumière trois phénomènes marquants :

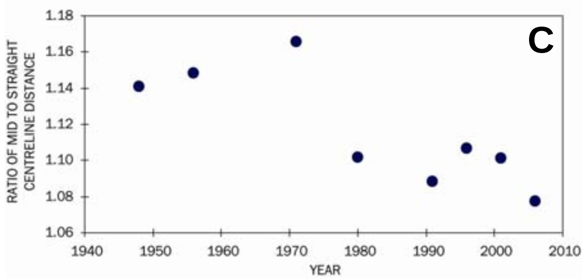
- la bande active s'élargit systématiquement lors des événements de crue ; dans ce cadre, on voit très bien que les crues de 1951, de 1978, de 1994 et de 2003 expliquent les ré-élargissements constatés sur les photographies de 1956, 1981, 1996 et 2006 alors que les périodes enregistrant peu ou pas de crue se caractérisent par une rétraction du chenal (1956-1971, 1981-1991, 1996-2001) ;
- malgré tout, l'intensité des élargissements n'est pas forcément corrélée à l'intensité de la crue ; la crue de 1951 (Q_{16}) a eu ainsi le même impact morphologique que la crue centennale de 1994 (14m d'élargissement en moyenne) ; inversement, la crue de 1978 qui a la même intensité que celle de 1951 n'a pas du tout eu le même impact (+3m seulement) ;
- le tracé en plan de la bande active se modifie profondément entre 1971 et 1980 ; il devient beaucoup plus rectiligne qu'auparavant, expliquant sans doute les différences observées précédemment (Figure 3.14 C) ; il est fort probable que la crue de 1978 n'ait pas enregistré d'érosion latérale marquée car le chenal est alors rectiligne, ce tracé étant imposé localement par des travaux en rivières (levés protégeant certaines parties de la bande active soumises à des extractions de granulats).



	VARIATION IN ESTIMATES (m)	AVERAGE CHANNEL WIDTH (m)		ABSOLUTE AND (%) CHANGE DURING EPOCH (m)	
		W_A	W_T	W_A	W_T
1948	2	49	59		
1956	2	63	74	14 (+29)	15 (+25)
1971	2	47	60	-16 (-25)	-14 (-19)
1980	2	51	62	3 (+7)	3 (+4)
1991	2	37	49	-14 (-27)	-13 (-21)
1996	2	50	58	14 (+37)	9 (-18)
2001	3	47	56	-3 (-6)	-2 (-3)
2006	4	50	54	3 (+6)	-2 (-4)
OVERALL 1948-2006	6	1	-5		

B





Évolution des pics de crue annuels entre 1948 et 2009

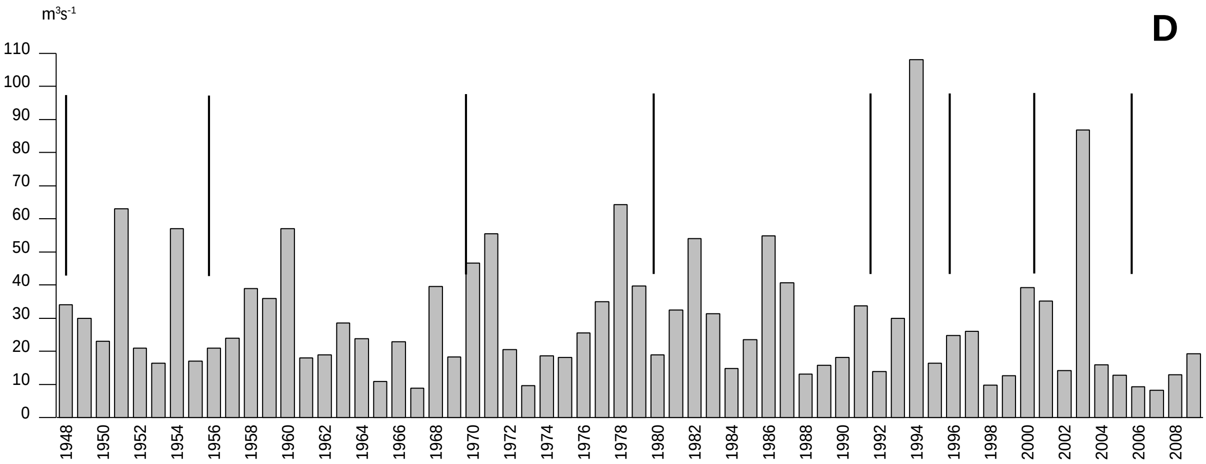


Figure 3.14. A - Evolution du tracé en plan de la Drôme entre 1948 et 2006 (Toone, 2009). B - Evolution de la largeur moyenne et (C) du taux de sinuosité de la bande active. D - Evolution des pics de crue annuels entre 1948 et 2009 avec les crues de 1951 (Q16), de 1978 (Q17), 1994 (Q100) et 2003 (Q45).

Suite à ces résultats et aux observations faites dans la partie A-2 (comparaison des bandes actives des 50 rivières en tresses), plusieurs approches complémentaires sont ainsi considérées :

- étude des processus de végétalisation à partir d'images drone afin de comprendre le phénomène et sa diversité,
- étude inter-annuelle de l'évolution de la largeur de la bande fluviale à partir d'images satellites permettant de voir le comportement à plus large échelle du patron de recolonisation végétale à la suite d'une crue.

1 . La dynamique fine de colonisation de la végétation

La question est ici de savoir de quelle façon la végétation rivulaire colonise les bancs de galets année après année à la suite d'une crue importante en observant le phénomène.

Cette question est abordée sur un tronçon de la Drôme, entre le pont Recoubeau et celui de Luc-en-Diois entre 2003 (date de la crue comme indiquée sur la figure précédente) et 2009, sur une période durant laquelle aucune crue n'a eu lieu, si ce n'est un petit événement de période de retour 1,5 an au cours de l'hiver 2008-2009 (Figure 3.14 - B).

Après une cartographie par photo-interprétation de la végétation préexistante et des individus nouvellement apparus, il est possible de faire plusieurs observations (Figure 3.15):

- Le nombre de polygones total relevé augmente régulièrement, sauf en 2009 où la crue de l'hiver précédent a entraîné l'arrachage de quelques individus.
- La végétation déjà présente sur le secteur croît chaque année, de manière remarquablement régulière (entre 7 et 15%/an). La faiblesse de l'expansion de 2009 s'explique par la disparition de quelques ligneux au moment de la crue de l'hiver précédent.
- L'apparition de nouveaux individus et la surface conquise respective ne suivent pas une tendance interannuelle. Si l'on exclut les années 2005 et 2009 qui ne peuvent permettre confirmation de l'apparition de nouveaux arbres, l'année 2007 a été l'année la plus favorable. Les années 2006 et 2008 ont également vu des taches de végétation apparaître.
- La surface conquise cumulée de ces nouveaux individus est, quant à elle, presque linéaire (+27% en moyenne par an).

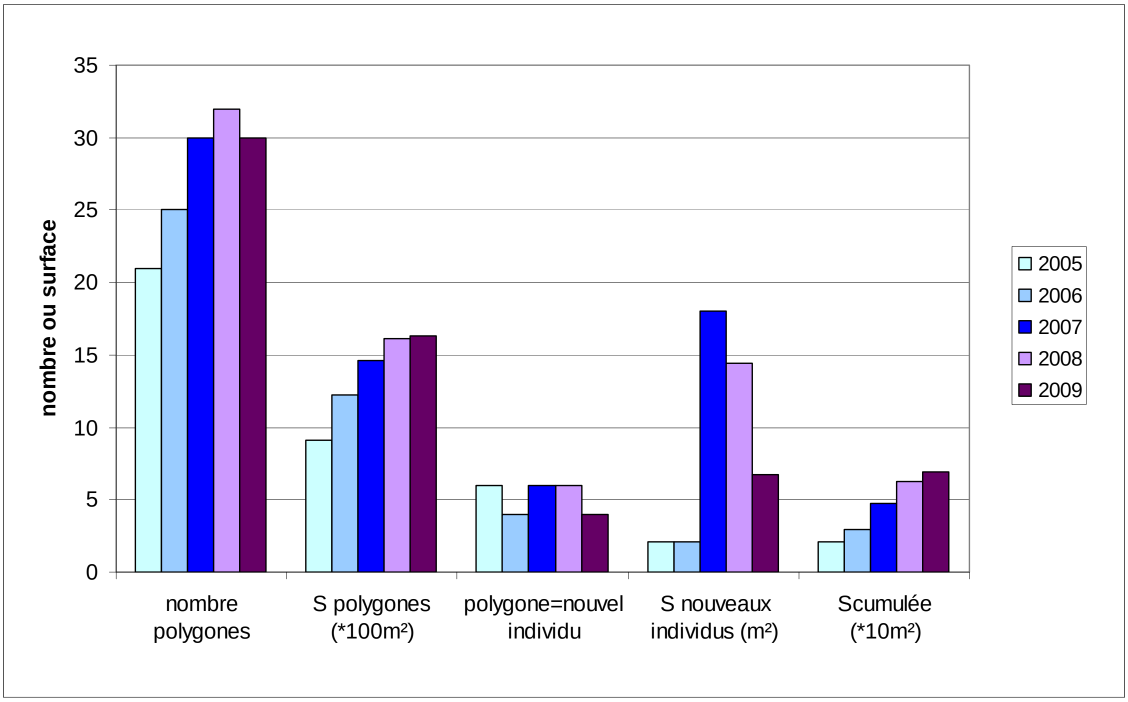


Figure 3.15 : Evolution de différents paramètres de végétation présents dans la Drôme. Les années extrêmes sont à interpréter avec précaution dans le cas de l'apparition de nouveaux individus, puisque sans aide référente des années encadrant. Rappel : la Drôme a connu une crue décennale en janvier 2004 et rien supérieur au Q1,5 depuis. Les variables retenues sont : le nombre de polygones de végétation détectés sous ArcGis, la surface S que couvrent les polygones déjà existants, le nombre de nouveaux individus formés, et enfin la surface S que ces derniers occupent l'année en question, ou depuis leur apparition (cumul).

Parmi les nouveaux individus détectés, il est très probable que certains naissent de façon asexuée, notamment ceux apparaissant proches d'un arbre adulte dans un îlot de végétation. Cependant, un grand nombre apparaissent également de façon « linéaire » sur les photographies. Si certaines lignes épousent la forme du chenal de l'année précédente ou en cours, d'autres en revanche naissent au milieu d'un banc de galets où l'eau, en l'absence de crues, n'a clairement pas pu circuler. Cette remarque appuie donc une hypothèse de reproduction sexuée dont le vecteur principal serait le vent : les graines de la ripisylve (en majorité des Saules et des Peupliers) seraient alors arrêtées par un microrelief local et germeraient à l'endroit où elles échouent.

Cette même végétation « linéaire » connaît cependant dans certains cas une mortalité assez forte l'année suivante. Nous y voyons une raison principale : la vitesse de croissance des racines des jeunes arbres (parfois trop faible) pour pouvoir atteindre le niveau de la nappe d'accompagnement de la rivière. D'après Francis *et al.*, 2009, les jeunes saules sont capables de suivre un abaissement de nappe de 1 à 1,5cm par jour, et les peupliers de 2 à 2,5cm/jour. En effet, si le printemps 2007 a été assez pluvieux sur la Drôme et a permis la germination des graines de Salicacées dans de bonnes conditions, le mois de juillet, lui, a été relativement sec. Les jeunes plants les moins bien enracinés ont pu ne pas survivre à cette période de stress hydrique.

Le graphique parle de lui-même : le nombre de polygones total augmente régulièrement (sauf en 2009 où la petite crue de l'hiver précédent a arraché quelques individus), ainsi que la surface de la

végétation préexistante. Si la surface qu'occupent les nouveaux individus durant l'année en cours varie, leur importance relative dans l'ensemble de l'îlot de végétation, elle, augmente régulièrement.

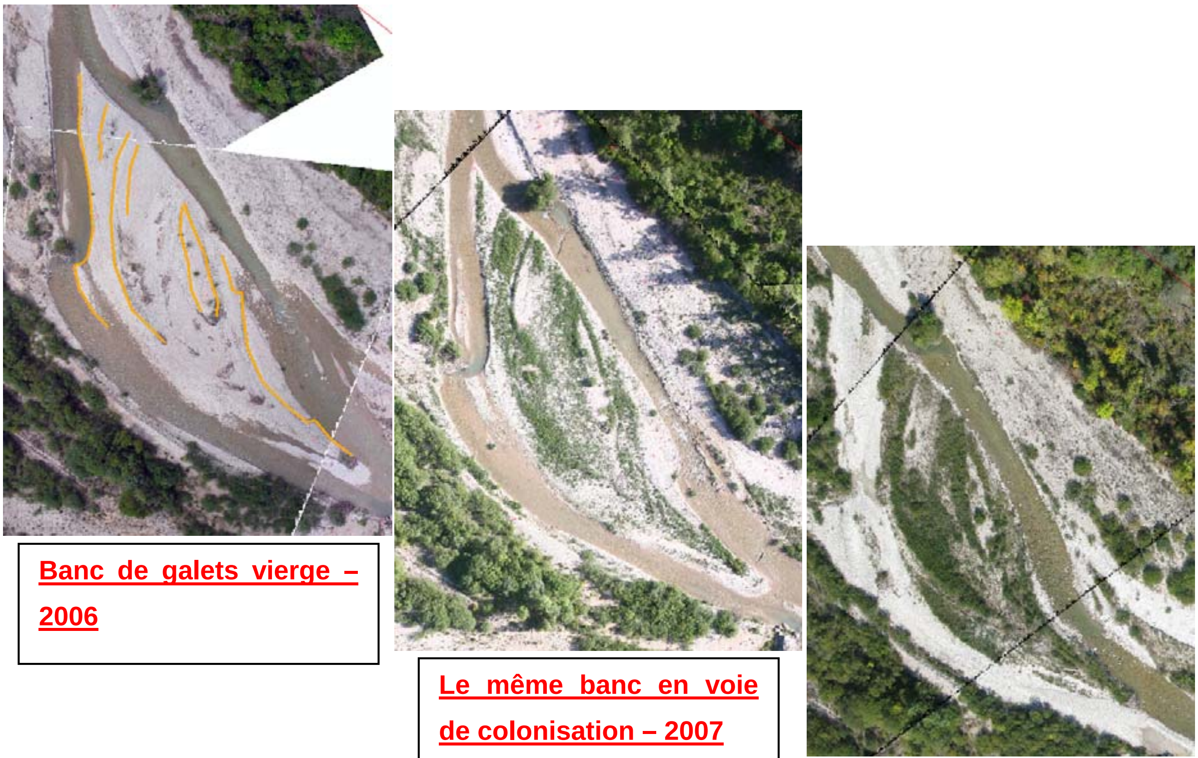


Figure 3.16. Evolution de la végétalisation d'un banc de galets sur la Drôme sur trois années successives. Secteur aval du chenal unique. *Série 1 : juste à l'aval du chenal unique que présente la Drôme sur notre secteur d'étude - altitude du banc de galets par rapport à l'eau : 0,5m.*

Ces 3 clichés successifs soulignent que l'année 2007 a été décisive dans l'établissement de la végétation sur la Drôme : alors qu'en 2006 le banc de galets était totalement dépourvu de verdure, en 2007 la quasi-totalité de sa surface est recouverte par de jeunes ligneux, des arbres qui en grande majorité survivent en 2008. Le microrelief visible à une échelle de 1/500 sur le cliché de 2006 a été dessiné (en orange). Ces lignes sont parfaitement reconnaissables suite à l'apparition de la végétation en 2007. On remarque enfin, sur le cliché de 2008, que les jeunes arbres apparus en 2007 ont pour la plupart survécu, à tel point que les « lignes » de microrelief que l'on numérisait en 2006 sont toujours visibles.



Figure 3.17. Evolution de la végétalisation d'un banc de galets sur la Drôme sur trois années successives. Secteur amont du chenal unique. *Série 2 : juste à l'amont - altitude du banc de galets par rapport à l'eau : 1m environ.*

Des remarques similaires sont à faire pour cette série de clichés : l'année 2007 est vraiment une année prolifique en ce qui concerne le développement de la végétation, qui, sur ce secteur encore, s'établit de façon préférentielle selon le microrelief observable sur le banc de galets nu en 2006. En revanche, en 2008, la mortalité des jeunes ligneux apparus en 2007 est nettement plus élevée : ceux-ci, verdoyants en 2007, apparaissent désormais gris, donc dépérissants. Etant donné que la seule différence locale entre ces deux secteurs est l'altitude relative par rapport à la rivière, on soulève l'hypothèse déjà formulée selon laquelle la germination qui s'est déroulée de façon idéale au printemps 2007 (grâce à des conditions pluviométriques avantageuses) n'a pu donner naissance à une végétation établie que si les jeunes arbres ont le temps d'atteindre la nappe d'accompagnement de la rivière avant de subir l'étiage et le stress hydrique associé.

Cette prolifération de la végétation en 2007 ne se remarque pas instantanément dans la numérisation des contours de la bande fluviale. En revanche, la croissance associée se retrouve à partir de 2008 avec, sur la Drôme, un rétrécissement notable de la surface de sa bande fluviale.

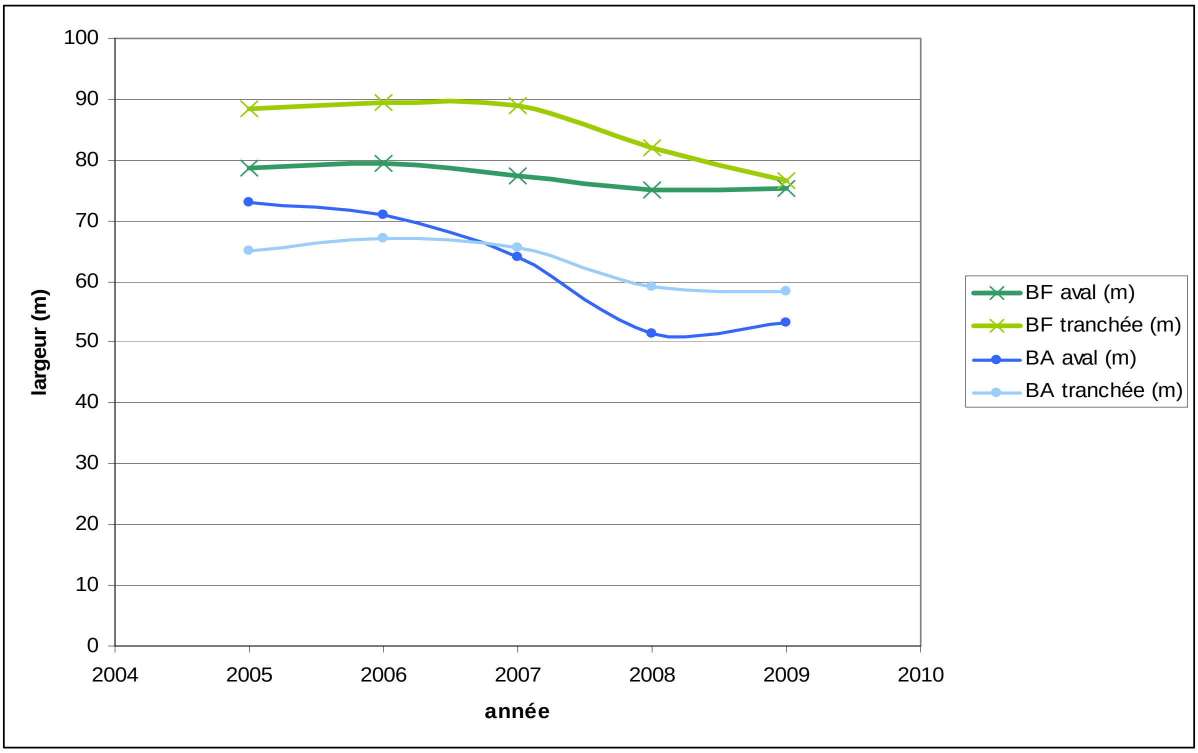


Figure 3.18 : Evolution des largeurs de la bande fluviale et de la bande active sur les deux secteurs aval (réunissant les sites 1 et 2) et tranchée (où se trouvent les sites 3 et 4) de la Drôme

Il est intéressant de constater ici les comportements différents des secteurs tranchée et aval de la Drôme : si dans les deux cas la tendance globale est à la rétraction de la largeur de la bande active et de la bande fluviale, celles-ci répondent différemment à la végétalisation du tronçon. La bande fluviale évolue de façon faible dans la partie aval, avec une diminution à peine marquée entre 2006 et 2008 (5%). En revanche, dans la partie où la tranchée a été construite, la largeur de la bande fluviale diminue fortement en 2008 (9%), puisque les individus en marge de la bande fluviale, trop jeunes pour être comptabilisés en 2007, sont désormais considérés comme matures et intégrés comme tels à la forêt alluviale en 2008. Le même schéma de rétraction brutale de la bande fluviale se retrouve dans la diminution de surface de la bande active des deux secteurs. Ici également, les nombreux îlots de végétation formés en 2007 commencent à faire sentir leur présence en 2008. On remarque sur ce graphique également l'érosion qu'a causée la crue de l'hiver 2008-2009 sur les îlots de végétation, déjà noté précédemment. La colonisation de la bande fluviale des rivières s'opère donc selon deux patrons : par développement de la forêt alluviale vers l'intérieur de la bande fluviale, et par l'apparition d'îlots de végétation au cœur du corridor fluvial, des îlots qui, après une année particulièrement favorable, peuvent devenir suffisamment « établis » pour ne plus être considérés comme faisant partie de la bande active.

L'observation détaillée de la colonisation à la suite de la crue de 2003 sur la Drôme permet de formuler les remarques suivantes :

- la colonisation végétale post-crue est complexe ; elle ne s'exprime pas systématiquement l'année végétative suivant la crue et de manière linéaire en fonction du temps ensuite.

- elle dépend de conditions hydroclimatiques printanières favorables et d'un contexte morphologique permettant aux plantules de survivre à la sècheresse de la première année. Une tresse où les contrastes topographiques sont faibles a donc plus de chance d'être rapidement colonisées si les conditions hydroclimatiques permettant l'établissement des plantules sont réunies.
- Si les conditions de survie ne sont pas réunies, les jeunes plants meurent et la tresse ne se végétalise pas. Les conditions hydroclimatiques sont donc importantes et le contexte régional joue donc un rôle dans la capacité de recolonisation végétale au même titre que le rajeunissement par les crues.

2 . Analyse régionalisée de la colonisation de la bande fluviale par la végétation consécutivement à un épisode de crue

L'hypothèse de travail était que la largeur de la bande fluviale des rivières en tresses très rapidement soumise à une recolonisation végétale suite à une crue importante. Les travaux de Toone (2009) ont en effet montré sur la Drôme qu'après chaque grande crue (1951, 1978, 1994, 2003), on observe un élargissement du lit de la Drôme, suivi d'une rétraction, cette rétraction étant néanmoins variable à la suite d'un épisode ou d'un autre. L'observation des photos drone permet d'un peu mieux comprendre le phénomène et sa variabilité. De fait, une analyse régionalisée permettant de replacer cette dynamique dans un cadre comparatif est ainsi conduite maintenant à partir des images LANDSAT et SPOT.

De façon assez empirique, on sait que la largeur de la rivière tend à diminuer au fil des ans, ce qui traduit l'avancée de la végétation dans la bande fluviale. Le graphique ci-dessous (Figure 3.19) présente en abscisses et en ordonnées les coordonnées géographiques de 10 rivières étudiées entre 2002 ou 2003 (selon la date de la dernière crue sur le tronçon) et 2009 dont on a calculé la superficie puis la largeur de la bande fluviale. La taille des cercles est proportionnelle à leur variation de largeur donc à leur végétalisation annuelle. En blanc sont représentées les rivières dont la largeur diminue, en bleu celles dont la largeur augmente (et où donc la végétation riveraine recule au profit des bancs de graviers) à la suite d'une crue (2003 généralement).

Une tendance Est/Ouest semble se dessiner : le recul de la bande fluviale paraît plus ou moins prononcé selon la région géographique et donc le contexte hydroclimatique des rivières.

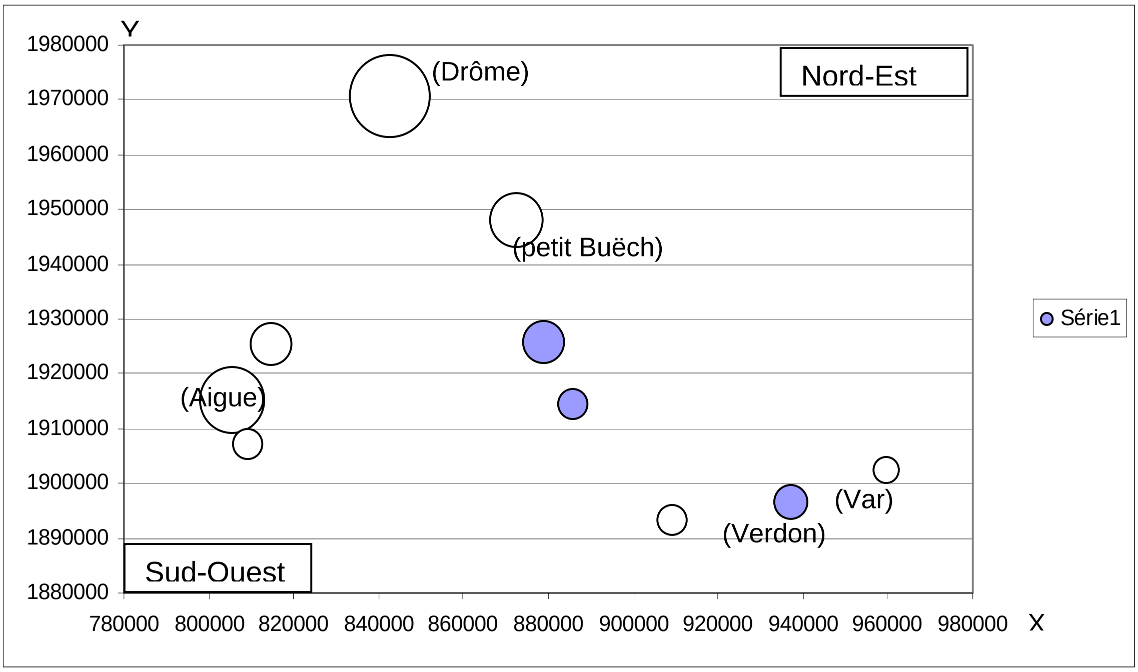


Figure 3.19. Variations moyennes annuelles de largeur de la bande fluviale en % de la largeur initiale en fonction de la localisation géographique de la rivière (cf. carte ci-dessous). La taille des cercles est proportionnelle à l'intensité de leur rétraction (en blanc) ou de leur élargissement (en bleu).

Ces résultats sont très encourageants mais sont difficiles d'interprétation à cause de la mauvaise qualité des images LANDSAT (grain grossier et dégradation de l'image suite à l'endommagement du satellite en 2003). Ainsi l'analyse a-t-elle été complétée avec les scènes SPOT (figure ci-dessus et Tableau 3.1).

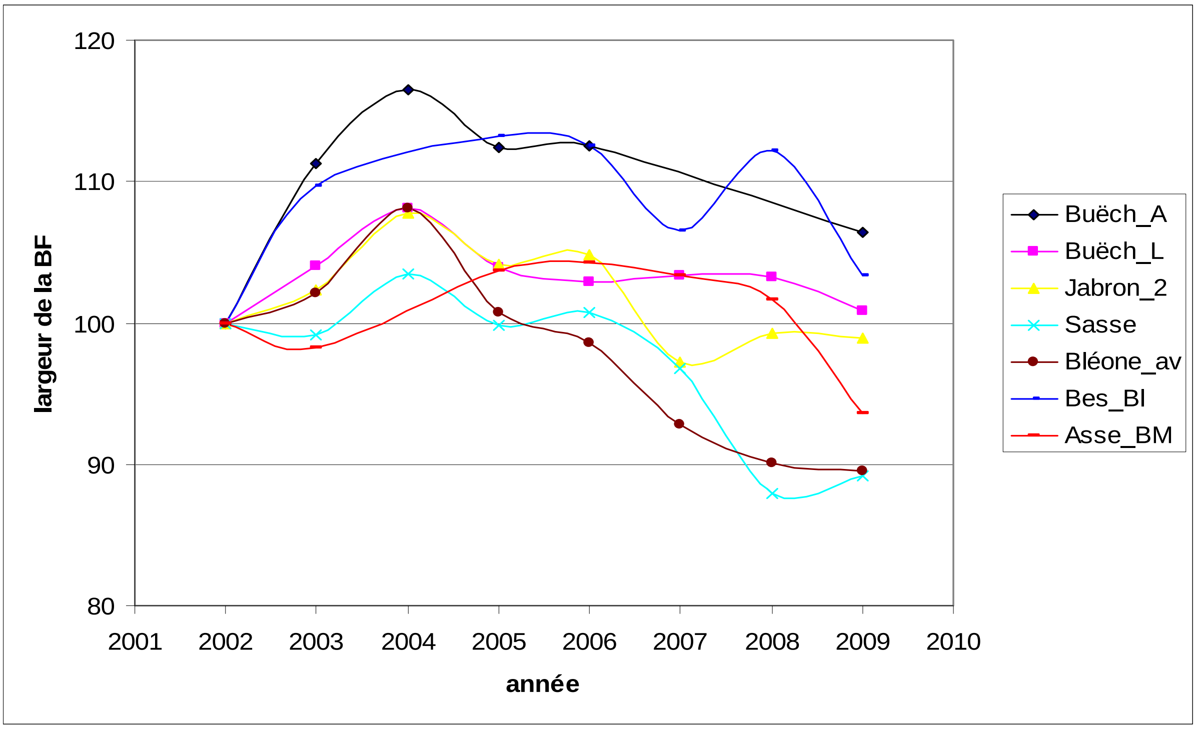


Figure 3.20 : Evolution relative de 7 rivières étudiées avec SPOT. Référence : toutes les rivières ont une bande fluviale de largeur 100 au début de l'étude.

On n'observe pas qu'une seule tendance d'évolution de la bande fluviale sur ce graphique. Si certaines rivières comme la Bléone aval sont presque des « cas d'école », avec une augmentation radicale de la largeur de leur bande fluviale suite à la crue de 2003 avant une diminution régulière par la suite, d'autres fluctuent sans forcément de raison apparente.

Cependant, certains tronçons connaissent un « creux » plus marqué en 2007 (Bléone aval, Jabron, Bès) ou en 2008 (Sasse). Il s'agit peut-être là d'un phénomène similaire à celui étudié sur la Drôme.

Tableau 3.1 : Résumé des caractéristiques de chaque tronçon et des évolutions latérales observées. Les évolutions en m sont obtenues par régression linéaire sur chaque tronçon, et les évolutions relatives par un calcul de la moyenne annuelle.

	X	Y	longueur tronçon (m)	largeur BA (m)	dernier Q_{10}(*)	évolution BF m/an	perte relative moyenne
Buëch_A	878912	1925746	5817	257	nov.-02	-3,3	-1,05%
Buëch_L	883225	1919134	4739	242	nov.-02	-1,76	-0,48%
Jabron_2	885923	1914267	2265	123	nov.-99	-0,79	-0,09%
Sasse	890633	1924437	4200	105	févr.-79	-2,19	-1,54%

Vanson	897158	1917723	1327	39	oct.-99	0,32	1,44%
Bléone_av	900000	1899721	4293	181	févr.-79	-3,85	-1,48%
Bléone_am	915702	1913373	3333	182	janv.-79	1,28	0,56%
Bès_Bl	913739	1916439	2658	110	janv.-79	0,44	0,73%
Asse_BM	909281	1893157	3215	136	nov.-99	-0,39	-1,01%

(*) toutes les rivières observées ont connu au moins un Q_2 voire un Q_5 en 2003, et des événements inférieurs au Q_2 depuis

D'une manière générale, il apparaît que la bande fluviale tend à se rétracter au cours du temps, (en moyenne « absolue » 1,14m/an), mais que ce phénomène montre une forte variabilité d'un cours d'eau à l'autre.

Par exemple, 3 rivières enregistrent un élargissement : le Vanson, la Bléone amont et le Bès à sa confluence avec la Bléone. Parmi ces 3 rivières, l'interprétation des résultats du Vanson est délicate car sa bande active est tellement peu large qu'elle n'est représentée que par 2 à 4 pixels, ce qui la rend sujette à de nombreuses erreurs de mesure. Par ailleurs, en observant la Bléone amont sous Géoportail, nous nous sommes rendu compte qu'elle avait fait l'objet d'aménagements anthropiques et que la végétation en marge de sa bande active avait été essartée : cela rend également l'interprétation sujette à caution.

Finalement, seul le Bès fait exception à la rétraction globale remarquée de sa bande fluviale. Mais est-ce que 0,4m/an est significatif ? Quel crédit apporter à l'utilisation d'images satellite dans l'étude de la bande fluviale des rivières ? La marge d'incertitude due au pixel grossier des images est-elle trop grande ?

Ces différentes études permettent de souligner ainsi les éléments suivants :

- Une rétraction de la bande active/fluviale est souvent observée à la suite d'une crue morphogène
- Elle ne suit pas une tendance claire avec le temps mais répond plus ou moins favorablement certaines années particulières au contexte hydro-climatique printanier
- Une fois le recrutement effectué, la survie des végétaux dépendra du contexte morphologique de la tresse et des conditions hydro-climatiques estivales qui vont contrôler sa probabilité d'atteindre la nappe
- Il est possible qu'une opposition ouest / est soit observée avec un contexte occidental/rhodanien plus favorable à la végétalisation que le contexte durancien (sècheresse moins prononcée, période plus favorable – année 2007 – pour cette région durant la période d'observation concernée).

CHAPITRE III - PREMIERES CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

PARTIE 1. PREMIERES CONCLUSIONS

Rédacteurs : B. Belletti, F. Liébault, H. Piégay

A . TRAJECTOIRES GEOMORPHOLOGIQUES

Cette étude a permis de montrer que la majorité (56%) des tresses du bassin Rhône-Méditerranée présente une tendance à l'incision à l'échelle du siècle, ce qui traduit un bilan sédimentaire déficitaire. Les exportations solides grossières (transport solide par charriage et prélèvements) n'ont pas été compensées par les apports en provenance des berges et des torrents. Ces situations sont plus fréquentes dans les Alpes du Nord où les pressions anthropiques (hydroéléctricité, urbanisation des fonds de vallée) ont été plus fortes comparativement aux Alpes du Sud. Ceci explique d'ailleurs pourquoi les tresses se font beaucoup plus rares dans le nord, la plupart ayant disparu sous l'effet de l'aménagement des cours d'eau et des extractions de graviers (Peiry et al., 1994; Piégay et al., 2009).

L'analyse des forçages confirme l'influence des extractions de graviers et de la mobilité latérale sur l'évolution du profil en long. Les tresses qui maintiennent un régime sédimentaire en équilibre ou excédentaire sont celles sur lesquelles les prélèvements ont été les plus faibles (d'après les traces laissées par les anciennes carrières dans le paysage) et où le potentiel de divagation latérale a été le mieux préservé. L'exemple le plus frappant est sans doute celui des basses vallées de l'Asse et de la Bléone, qui montrent des évolutions altitudinales très différentes (incision en Bléone et exhaussement sur l'Asse) dans un contexte physique quasi identique. L'explication se trouve dans l'urbanisation beaucoup plus prononcée en Bléone (Malijai, Digne-les-Bains) qui s'est traduite par des prélèvements et aménagements plus importants. Tout ceci est déjà bien connu et cette étude ne fait que renforcer à l'échelle régionale les conclusions des investigations conduites à l'échelle d'une vallée (Gautier, 1994; Landon et al., 1998; Marston et al., 2003; Miramont et al., 1998; Piégay and Peiry, 1997). En revanche, notre analyse montre statistiquement l'importance des forçages torrentiels sur la trajectoire morphologique des tresses, une idée exprimée dans plusieurs études (Landon et al., 1998; Liébault et al., 2008) mais qui n'était pas vraiment consolidée par des statistiques robustes. Il est intéressant de constater que seule la prise en compte des torrents les plus actifs (ceux ayant un impact visible sur la morphologie du cours d'eau principal) permet de mettre en évidence un effet sur l'évolution altimétrique séculaire des tresses. Ces torrents étaient beaucoup plus nombreux au début du siècle. Ceci renforce la conclusion selon laquelle l'extinction de l'activité des torrents sous l'effet combiné de la reconquête forestière des versants, des travaux RTM et du réchauffement climatique post-PAG a contribué à accélérer la disparition du tressage dans les Alpes.

Aujourd'hui, les extractions en lit mineur sont interdites depuis la loi sur l'eau de 1992. Seules les extractions nécessaires à la sécurité des biens et des personnes sont autorisées selon une réglementation stricte (durcie avec la directive cadre sur l'eau et son application française avec la directive no. 2006-1772 et la réforme de la nomenclature sur l'eau) comme par exemple sur le Petit-Buëch (Figure 1.1). Une idée courante est d'admettre que cette réglementation sera suffisante pour obtenir un rehaussement spontané des tresses incisées. Cette étude montre que ce ne sera pas le

cas partout car les conditions de recharge sédimentaire ne sont pas toujours favorables. On peut prendre en exemple la basse vallée de la Drôme, le Fier, le Giffre ou la Dranse de Morzine. Toutes ces tresses sont fortement incisées et leur potentiel de recharge sédimentaire de proximité est faible. Dans de tels cas, il apparaît souhaitable de n'autoriser les curages qu'à de très rares exceptions et de promouvoir la restauration d'un espace de liberté, le soutien de la recharge sédimentaire et la préservation de la continuité du transport solide. Inversement, d'autres rivières semblent mieux armées pour restaurer spontanément leur profil en long. Il s'agit notamment de l'Ubaye, de la basse vallée de la Bléone, de l'Arrondine, de l'Arvan et de la Sasse. Malgré une incision forte à l'échelle du siècle, la recharge sédimentaire actuelle semble suffisamment préservée pour garantir un rehaussement du lit. On retrouve d'ailleurs dans certaines de ces rivières des indices morphologiques qui montrent que cette restauration est en cours (faible encaissement des chenaux dans les bancs, présence de nappes de charriage). Un dernier cas de figure est celui des tresses exhaussées qui maintiennent un fort potentiel de recharge sédimentaire. On peut citer à titre d'exemple la Tinée, la basse vallée de l'Asse ou encore le Bès Bléone. On peut imaginer ici une plus grande souplesse en matière d'autorisation de curages, à condition que ceux-ci soient clairement destinés à améliorer la sécurité d'enjeux menacés par la formation des engravements.



Figure 1.1. Extraction de granulats dans le lit du Petit Buëch (N. Talaska)

L'analyse morphologique des tresses a permis de mettre en évidence des liens statistiques entre des indicateurs morphométriques et le régime sédimentaire. Les indicateurs les plus performants sont l'encaissement des chenaux dans la bande de tressage, la présence de convexités marquées sur le profil en long ou encore la largeur normalisée de la bande active. Il faut néanmoins rester prudent sur l'utilisation de ces indicateurs car l'étude repose sur une population statistique de taille modérée et sur des situations morphologiques qui peuvent ne pas être représentatives du régime sédimentaire utilisé pour discriminer les groupes (nous n'avons pas accès à la variabilité dans le temps des réponses morphologiques). L'implémentation d'une approche expérimentale prévue en année 2 du projet permettra d'apporter de nouveaux éléments sur ces questions car il sera possible d'imposer le régime

sédimentaire et d’observer selon un pas de temps court l’ajustement morphologique et sédimentaire des tresses.

B . CARACTERISATION DE LA STRUCTURE SPATIAL E DES TRESSES ET DES HABITATS AQUATIQUES

Les premiers résultats présentés dans cette étude ont montré la grande variabilité régional de la planimétrie des rivières en tresses. Concrètement, cette première année a permis de mieux comprendre le sens et la validité d'un certain nombre d'indicateurs qui pourront par la suite être utilisés ou non dans la mise en place d'une typologie des tronçons en tresses. Plusieurs observations sont ainsi formulées :

- la largeur de la bande active est liée à la taille du bassin versant et constitue donc un bon indicateur de l’activité du tressage lorsqu’elle est ainsi pondérée par ce paramètre,
- si la relation largeur bande active / régime de crue semble complexe, le type et l'étendue de la végétation dans la bande fluviale semble un bon indicateur de l’état de ré-ajustement de la tresse aux conséquences bio-physiques de la dernière crue
- le taux de tressage est faiblement lié au débit, plus probablement à la morphologie du tronçon mais avec une forte variabilité locale
- la composition et la diversité en habitats aquatiques présente un potentiel d'indication intéressant compte tenu de leur forte variabilité inter-sites

Une typologie de rivières en tresses au niveau régional ne semble pas identifiable uniquement sur la base de ces éléments mais doit intégrer d'autres composantes du système, travail qui sera realisé dans la suite de ce projet.

PARTIE 2. PERSPECTIVES

Rédacteurs : B. Belletti, F. Liébault, H. Piégay, S. Dufour, F. Malard, A. Recking, C. Capderrey V. Wawrzyniak.

Une réunion de travail collective a eu lieu en février 2010 afin de caler la démarche écologique, thermique et expérimentale. Cette visite de terrain a permis d'échanger les points de vue et de recaler les opérations pour l'année 2. De fait les perspectives pour l'année 2 vont reposer sur plusieurs suivis :

- suivi expérimental (travail d'Alain Recking et Pauline Leduc)
- suivi thermique (travail de thèse de V. Wawrziniak en partenariat avec P. Allemand)
- suivi des communautés d'invertébrés (travail de Florian Malard, Thibault Datry et Cécile Capderrey)

Par ailleurs, on finalisera le travail de caractérisation diachronique de l'habitat terrestre sur l'échantillon de 50 tronçons.

Nous avons pris le parti de dissocier géographiquement les sites d'étude afin de tenir compte des contraintes d'échantillonnage de chacun considérant que celles-ci étaient plus fortes que les gains scientifiques à attendre de collecter toutes les informations sur les mêmes sites. Par contre, l'échantillonnage de chacun est justifié scientifiquement pour répondre aux questions collectives concernant le potentiel écologique et fonctionnel des rivières en tresses.

A . SUIVIS EXPERIMENTAUX

Ces suivis viennent compléter l'étude morphologique de l'année 1 et apportent des éléments de compréhension des processus permettant d'interpréter les trajectoires morphologiques et l'évolution probable des rivières en tresses mais aussi la structure des habitats et sa diversité géographique. Ces suivis s'inscrivent dans le cadre d'une thèse cofinancée par l'ANR Gestrans et intitulée « Etude expérimentale de la dynamique des macroformes sédimentaires en territoires de montagne : le cas des rivières en tresses ». La thèse sera financée à 50% par l'ANR (projet Gestrans) et à 50% par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse (Projet typologie des rivières en tresses de RMC). Le démarrage est souhaité au 1er septembre 2010.

L'objectif est de produire des outils permettant de diagnostiquer la dynamique sédimentaire d'un cours d'eau par une simple lecture de ses macroformes (dimensions, granulométrique, pente, forme, végétation…). Ces outils font actuellement cruellement défauts aux opérationnels, que ce soit pour la gestion des risques ou pour des aspects liés à la qualité des milieux. Ils seront diffusés très largement au travers des publications scientifiques, mais aussi par la publication de guides techniques. La thèse sera réalisée en étroite collaboration avec la thèse de Sandrine Tacon (*Dynamique des macroformes sédimentaires en rivières de montagne à forte charge solide*), qui s'intéressera aux mêmes aspects à partir d'expérimentations de terrain et qui s'appuie sur les résultats morphologiques de l'année 1.

La thèse s'intéressera à la compréhension des mécanismes de contrôle de la mobilité des macroformes sédimentaires, qui est un des objectifs du projet. Afin de mieux isoler certains phénomènes qui ne peuvent être observés sur le terrain pour des raisons évidentes d'échelles (d'espace et de temps) ces mécanismes seront étudiés expérimentalement en laboratoire. Ces expérimentations qui permettent d'analyser les processus en fonction de différents contextes hydrauliques et sédimentaires (pente, granulométrie, abondance de charge, régime hydrologique) seront confrontées aux observations de terrain que d'autres chercheurs conduisent dans le cadre des projets listés précédemment. Les macroformes seront considérées à travers l'exemple des tresses, qui sont intéressantes à plusieurs titres :

(i) elles sont présentes à tous les niveaux hiérarchiques du bassin versant, depuis les zones de production en altitude, jusqu'aux zones de confluence en plaine, et jouent un rôle majeur dans la régulation du transfert de la charge sédimentaire (par stockage et déstockage);

(ii) sur le terrain elles sont un lieu privilégié d'observation de la mobilité des macroformes (où elles sont présentes en grand nombre et sont fréquemment remobilisées), ce qui facilitera une comparaison avec les résultats du laboratoire ;

(iii) lorsque replacée sur un gradient actif-deliquescent, la dynamique de tressage peut s'avérer être un précieux outil de diagnostic de l'état de santé sédimentaire d'un cours d'eau.

La thèse sera basée sur des expérimentations de laboratoire. L'objectif ne sera pas de construire un modèle physique d'une tresse en particulier, mais de travailler en similitude de Froude afin que les écoulements observés en canal soient représentatifs des conditions naturelles d'écoulement. En toute rigueur, il faudrait également travailler avec des écoulements turbulents rugueux ($Re^*>70$), afin de ne pas modifier les conditions de début de mouvement des matériaux. Cet aspect impose de trouver un compromis entre la taille des matériaux et la taille (et la pente) du canal, et pourrait donc être une contrainte forte au choix des sédiments. Néanmoins les tests réalisés à ce jour indiquent que les conditions de tressage ne seraient que faiblement affectées par ce paramètre s'il n'est pas trop éloigné de $Re^*=70$ [*Ashmore*, 1988 ; *Hoey*, 1992].

Les expériences seront réalisées sur la plate-forme torrentielle du Cemagref (6m de long sur 1m de large) et sur la plate-forme torrentielle de la Sogréah (17m de long sur 5m de large). Chaque expérience sera réalisée avec des conditions imposées en entrée de canal (débit liquide et solide, granulométrie du mélange). La vitesse d'écoulement (sur la base d'observations de surface), le débit solide en sortie de canal et l'évolution de la granulométrie de surface et de la topographie seront mesurés à des intervalles réguliers. Pour mesurer la topographie du lit, une méthode simple et couramment utilisée consiste à balayer le lit avec une pointe jaugeuse. Cependant cette technique est laborieuse et des discussions sont en cours (en interne mais aussi avec d'autres laboratoires partenaires) sur la possibilité d'utiliser des méthodes modernes plus performantes : capteurs ultra son, projection de franges, lasers. Le débit solide de sortie sera mesuré par échantillonnage manuel complété par une mesure en continue par analyse d'images [*Frey, et al.*, 2003]. La surface du lit et la

granulométrie seront suivis par coloration des matériaux et suivi photographique. Des techniques de coloration pourront également être utilisées pour suivre les écoulements.

Dans un premier temps, on s'appuiera sur l'hypothèse de processus communs aux bancs et aux tresses, pour essayer de mettre en évidence un effet du tri granulométrique. *Lisle et al.* [1993] avait montré, en travaillant à une pente de 3%, que le tri granulométrique avait pour effet de réduire la mobilité des bancs, par formation d'une armure. Cependant cette observation était basée sur une durée très courte (10h), alors que les expériences de *Recking* [2006] sur des écoulements contraints latéralement avaient montré que lorsque les expériences sont suffisamment longues (60h) l'armure est périodiquement détruite pour laisser place à de très fortes érosions verticales à l'origine de nappes de charriage. On reproduira sur le canal du Cemagref les expériences de *Lisle et al.* [1993] sur une durée de 100h minimum afin de vérifier si des érosions périodiques en plan se superposent aux érosions verticales lorsque l'écoulement n'est pas contraint latéralement. Cette expérience simple permettra de finaliser le protocole de suivi des macroformes pour les expérimentations plus complexes sur les tresses.

Une seconde série d'expériences, toujours réalisées au Cemagref, permettra d'étudier la réponse du tressage aux conditions d'alimentation. Ces expériences seront réalisées à une pente relativement forte de 1 à 3% et avec des sables grossiers (en granulométrie étendue) afin de pallier aux faibles dimensions du canal. Différentes combinaisons de débits (liquide et solide) seront testées. On cherchera à reproduire les formes susceptibles d'êtres présentes sur tout le gradient évolutif des tresses (depuis la déliquescence avec débit solide imposé nul, à l'aggradation avec débit solide imposé élevé). Pour chaque expérience on cherchera à mettre en évidence ce qui est dû au processus purement érosifs (changement de connexions entre canaux existants, destruction des bancs aux forts débits) et ce qui est dû au tri granulométrique (production de nappes de charriage, périodicité des érosion-aggradation locales aux débits faibles à modérés). Ces expériences permettront de couvrir une large gamme de scénarios.

Dans un troisième temps, des expériences longues seront réalisées sur la plate-forme torrentielle de la Sogreah. Ces expériences permettront d'approfondir dans des conditions optimales, une sélection de quelques uns des essais précédents, jugés les plus représentatifs.

Toutes ces expériences permettront également de tester les lois de transport solide existantes, et éventuellement de proposer des adaptations de ces dernières pour les écoulements en tresses.

B . LA CARACTERISATION DES HABITATS ET DU PAYSAGE

1 . Finalisation de l'étude synchronique de la mosaïque paysagère

Suite à l'étude du comportement du patron de tressage qui varie signicativement à l'intérieur même de chaque bande de tressage, nous avons prévu de finaliser les analyses en sous-tronçons déterminés selon le critère d'homogénéité de largeur de bande active. Cette partie aura comme objectif de compléter l'étude du fonctionnement de la morphologie en plan des rivières en tresses à l'échelle fine et de mieux comprendre les facteurs régissant la structure planimétrique d'une tresse.

Pour compléter l'analyse des habitats aquatiques, nous envisageons l'exploitation des valeurs radiométriques du chenal principal segmenté tous les 10 mètres. L'objectif sera d'en déduire la structure longitudinale à l'échelle des méso-habitats (seuils et mouilles) pour chercher finalement à identifier l'existence d'une régionalisation de cette structure longitudinale. Les données sont prêtes mais n'ont pas encore été exploitées. Cette variable devrait être moins influencée par le débit au moment de l'observation.

La structure paysagère sera ensuite analysée dans sa globalité afin d'identifier un patron régional d'organisation des rivières en tresses. La mosaïque végétale du corridor fluvial fera aussi partie de cette analyse. Nous envisageons l'utilisation d'indices de diversité de rapport des surfaces, d'indices de contact entre unités paysagères ou de forme des unités mêmes. Des analyses statistiques exploratoires seront réalisées pour faire émerger les facteurs qui contrôlent la structuration paysagère des tresses.

2 . Analyse de l'évolution pluri-décennale

Le traitement des photographies aériennes et leur classification ont déjà été réalisés à ce jour.

L'analyse de la dynamique pluri-décennale reste à faire. Elle sera finalisée en deuxième année. Nous allons ainsi comparer la tresse observée sur d'anciennes photos aériennes des années 1950-1960 avec celle des orthophotos IGN des années 2000. Nous devrions ainsi obtenir, par comparaison, la variation de la surface occupée par différentes entités du corridor fluvial qu'il s'agisse des îlots boisés, de la bande active ou encore de la végétation des marges externes. Les îles sont-ils ainsi pérennes, leur végétation évolue t elle ? Cette exploration sera également l'occasion de mettre en relation les changements planimétriques observés avec les observations géomorphologiques. Il s'agira ainsi de confronter les profils en long et en travers des rivières (incision/exhaussement) produits par le Cemagref de Grenoble avec le patron de végétalisation du corridor fluvial abordé par analyse photographique afin d'évaluer sa dynamique (tresses actives / sénescentes / disparues).

3 . Les choix des 12 sites

Suite à la campagne de terrain effectuée en février 2010, nous avons individualisé les 12 sites potentiels sur lesquels focaliser l'analyse de la dynamique multi-temporelle. Les critères retenus pour le choix de ces sites sont :

- Les patrons morphologiques décennaux (gradient incisions/exhaussement)
- L'existence de données hydrologiques exploitables sur la période de temps concernée,
- Les types « hydrogéomorphologiques » définis sur la base des différents régimes hydrologiques.

C . SPECIFICITES ET STRUCTURE DE LA DIVERSITE DES INVERTEBRES DANS LES RIVIERES EN TRESSES

Cette partie s'inscrit dans le cadre de l'étude de la structuration et de l'assemblage des communautés dans les écosystèmes dynamiques. Il existe un cas extrême de dynamisme au sein des écosystèmes dulçaquicoles: les rivières en tresse.

Le fort taux de renouvellement des rivières en tresse et leur structure particulière impactent fortement les communautés d'invertébrés peuplant ces milieux. Les travaux réalisés jusqu'à présent atteignent leur limite quand il s'agit d'expliquer les peuplements de milieux dynamiques. Ceux ci sont en effet plus dépendants de phénomènes aléatoires que de facteurs environnementaux tels que la température ou la disponibilité en nourriture. Dans ce contexte, l'étude sera centrée sur la détermination des liens entre la trajectoire géomorphologique (structure très particulière) des rivières en tresse et les modalités d'assemblage des communautés d'invertébrés aquatiques. Une approche expérimentale et une approche de génétique des populations permettront de répondre aux questions suivantes:

1. Quels sont les effets du taux de renouvellement de ces systèmes sur la structure de la diversité?
2. Quelle est l'importance relative des différents types de dispersion (voies de recolonisation) des invertébrés dans l'hétérogénéité des communautés?
3. Quelle est la connectivité des habitats au sein de ces milieux dynamiques? Existe-t-il des barrières à la dispersion, que pourraient révéler d'éventuelles discontinuités génétiques?

Pendant l'année 2 nous chercherons de repondre principalement à la prèmiere question ; des sites d'échantillonage ont déjà été selectionés suite à des campagnes de terrain en hiver et printemps 2010.

Les écoulements hyporhéiques (infiltration d'eau de surface puis exfiltration d'eau de surface) influencent la diversité et la structure des peuplements d'invertébrés dans les rivières en tresse. Ces écoulements s'organisent à différentes échelles spatiales autour d'unités géomorphologiques bien identifiées. A une échelle plurikilométrique, les bandes de tressage non contraintes latéralement sont des zones d'infiltration potentielle alors que les bandes de tressage contraintes latéralement ou verticalement par une constriction rocheuse sont des zones d'exfiltration potentielle. A une échelle hectométrique, ces écoulement s'organisent autour de structures géomorphologiques tels que les alternances seuils-mouilles, les bancs de graviers ou les méandres. Ainsi, l'amont des bancs de graviers sont des zones d'infiltration potentielle alors que l'aval des bancs de gravier sont des zones d'exfiltration potentielle. Les écoulements hypohréiques aux échelles plurikilométrique et hectométrique interagissent pour structurer la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés.

L'objet principal de ce travail est de tester l'influence des écoulements hyporhéiques plurikilométriques sur la diversité et la structure des peuplements d'invertébrés. Il s'agit plus particulièrement de tester l'hypothèse selon laquelle les zones d'exfiltration correspondants à des bandes de tressage contraintes latéralement ou verticalement par une constriction rocheuse pourraient constituer à l'échelle du paysage des hotspots de diversité. La généralisation de cette observation (utilisation de nombreux sites) déboucherait alors sur la possibilité de définir à l'échelle d'un bassin versant les zones à forte diversité à partir d'un SIG.

Le design

Afin de tester cette hypothèse, 12 secteurs présentant chacun à l'amont une bande de tressage non contrainte latéralement (zone d'infiltration potentielle) et à l'aval une bande de tressage contrainte latéralement ou verticalement par une constriction rocheuse (zone d'exfiltration potentielle en aval) ont été sélectionnés. L'échantillonnage des communautés d'invertébrés benthiques et hyporhéiques sera mené dans les deux bandes de tressage de ces 12 secteurs. L'échantillonnage dans chacune de ces bandes devra prendre en compte soit l'effet d'interaction des écoulements hyporhéiques hectométriques, soit l'effet d'interaction de la profondeur, soit ces 2 effets d'interactions combinés. Dans tous les cas, nous nous acheminons vers un design d'ANOVA du type:

Effet site (facteur aléatoire, 12 modalités), effet des écoulements hyporhéiques plurikilométriques (facteur fixe, 2 modalités), effet des écoulements hyporhéiques hectométriques (facteur fixe, 2 modalités), effet de la profondeur (facteur fixe, 3 modalités). L'effet des écoulements hyporhéiques hectométriques est imbriqué dans le facteur site. L'ANOVA permettra en fonction du design sélectionné (cf. considération ci-dessous) de tester: a) effet site; b) effet des écoulements hyporhéiques plurikilométriques imbriqués dans le site; c) effet des écoulements hyporhéiques hectométriques; d) effet de la profondeur; e) interaction entre b et c; f) interaction entre b et d; g) interaction entre b, c, et f.

Sélection des secteurs

La première étape a consisté à construire un système d'information géographique (SIG) permettant de repérer des sites potentiels sur les bassins versants de la Drôme, du Roubion, du Lez, de l'Eygues, de l'Ouvèze, et de la Durance. Ce SIG comprenait notamment les photographies aériennes, le réseau hydrographique, un modèle numérique de terrain, des cartes géologiques, une carte des formations Quaternaire et la liste des secteurs retenus dans le cadre du projet « Rivières en tresse ». Au total, près de 60 secteurs potentiels ont ainsi été repérés.

Trois campagnes de terrain ont ensuite été effectuées en Février, mars et avril 2010 (33 mois/homme) afin de visiter chacun de ces secteurs et d'évaluer leur aptitude à répondre à l'hypothèse devant être testée. Cette aptitude a été qualifiée de manière décroissante et commentées. Les critères de sélection utilisés ont été la nature de la constriction rocheuse, la perméabilité et la taille des sédiments (appréciées visuellement), l'existence de signes visuels d'infiltration et d'exfiltration dans les bandes de tressage amont et aval, et la richesse de la faune hyporhéique, notamment souterraine, évaluée à

a partir de prélèvements par pompage Bou-Rouch dans les sédiments. Au total, 36 prélèvements hyporhéiques ont été réalisés dans le cadre de cette campagne de prospection. La sélection finale des 12 secteurs a eu lieu en Mai 2010 au cours d'une réunion de concertation et comprend : 1) des secteurs répartis sur l'ensemble de la zone d'étude (objectif de généralisation) ; 2) Un couple de secteur amont et aval sur une même rivière (Lez, Eygues, Ouvèze, Buëch), l'influence des écoulements hyporhéiques pouvant dépendre de la taille du bassin versant considéré.

D . THERMIE

Le régime thermique des cours d'eau joue un rôle important sur les écosystèmes aquatiques (Caissie, 2006 ; Acuna & Tockner, 2009). Il a été montré que la température de l'eau peut avoir des impacts sur la répartition des espèces en milieu fluvial (Vannote *et al.,* 1980). Du fait de leur faible profondeur, les rivières en tresses peuvent enregistrer en période estivale des températures très élevées (Mosley, 1983). Elles présentent également une importante variabilité thermique aussi bien spatialement que temporellement (Arscott *et al*., 2001 ; Mosley, 1983). Pour un même tronçon, Mosley (1983) observe des variations thermiques jusqu'à 17,7°C entre les différentes entités du cours d'eau. Une particularité de ce type de rivières est que la variabilité thermique latérale est susceptible de dépasser, en été et en automne, la variabilité longitudinale de toute la rivière (Arscott *et al.,* 2001). Outre les différences de profondeur qui jouent sur le taux de radiation reçu par le cours d'eau, les échanges entre les eaux des chenaux et des eaux souterraines permettent d'expliquer cette variabilité thermique (Mosley, 1983). En effet, les flux hyporhéiques et phréatiques peuvent influencer la thermie de la rivière (Pool & Berman, 2001). Les bancs de galets affectant les flux hyporhéiques ainsi que leur disposition peuvent affecter la température de l'eau (Malard *et al.,* 2002). De plus, les mares en périphérie du cours d'eau sont susceptibles de présenter elles aussi des conditions thermiques différentes. Karaus *et al.* (2005) montrent que la température est un facteur de contrôle essentiel de la diversité de ces mares. La large gamme de température qu'offrent les rivières entre tresses, offre une grande diversité d'habitats. Cette dernière est toutefois difficile à appréhender avec des dispositifs de mesure in situ.

La télédétection infrarouge thermique (IRT) permet depuis peu de s'affranchir de ces limites en fournissant une cartographie continue de la température de surface de l'eau (Torgersen et al., 2001). Les satellites IRT n'offrant pas des résolutions spatiales assez bonnes, le vecteur d'acquisition aérien (hélicoptères ou avions) doit être privilégié dans l'étude de structures thermiques fines, comme les différentes surfaces en eau des rivières en tresses. La résolution spatiale, dépendante des paramètres de vols ainsi que des caractéristiques de la caméra thermique, pouvant atteindre le décimètre et la précision en température étant de l'ordre de 0,5°C (Torgersen et al., 2001), ce type de méthode offre de nouvelles perspectives quant à l'étude des structures thermiques fines des rivières en tresses.

9 sites ont été sélectionnés pour être imagés thermiquement. Ces tronçons tressés sont localisés dans 3 zones géographiques distinctes : dans le massif des écrins avec des rivières aux régimes nivaux (Vénéon, Drac Noir, Bans), dans la vallée du Rhône (Drome_Liv, Bes_Dr, Aigue_C), et dans les alpes du sud (Buech_A, Bleone_av, Asse_de_Blieux). La sélection des tronçons est basée sur la richesse et la diversité des habitats (chapitre II, p. 63). Chaque zone sera imagée une fois durant l'été 2010, puis une autre campagne sera réalisée plus tard dans l'année ou l'été prochain sur un tronçon de chaque zone. Les acquisitions seront effectuées à l'aide d'une caméra thermique VarioCAM® hr head de résolution thermique meilleure que 0.1°C. Couplé à un appareil photo, cette caméra sera embarquée sur un hélicoptère télécommandé Drélio de l'Université de Lyon 1, permettant une acquisition à très haute résolution (meilleure que 15 cm) à la fois visible et thermique. Un vol test a

déjà été effectué en avril 2010 sur le tronçon Drome_Liv au cours duquel de très faibles hétérogénéités thermiques (<0.5°C) ont été observées. Un autre vol test est encore prévu pour s'assurer que la caméra déclenche correctement malgré les vibrations liées au vol.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

"Trajectoires géomorphologiques"

Ashmore, P.E., 1988. Bedload transport in braided gravel-bed stream models. Earth Surface Processes and Landforms 13, 677–695.

Bravard, J.-P. and Peiry, J.-L., 1993. La disparition du tressage fluvial dans les Alpes françaises sous l'effet de l'aménagement des cours d'eau (19-20ème siècles). Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement Band, 88: 67-79.

Church, M., 1983. Pattern of instability in a wandering gravel bed channel. In: J.D. Collinson and J. Lewin (Editors), Modern and ancient fluvial systems. Special publication of the International Association of Sedimentologists 6. Blackwell, Oxford, pp. 169-180.

Church, M. and Jones, D., 1982. Channel bars in gravel-bed rivers. In: R.D. Hey, J.C. Bathurst and C.R. Thorne (Editors), Gravel-bed Rivers. John Wiley and Sons, Chichester, pp. 291-338.

Gautier, E., 1994. Interférence des facteurs anthropiques et naturels dans le processus d'incision sur une rivière alpine: l'exemple du Buëch (Alpes du sud). Revue de Géographie de Lyon, 69(1): 57-62.

Germanoski, D. and Schumm, S.A., 1993. Changes in braided river morphology resulting from aggradation and degradation. The Journal of Geology, 101: 451-466.

Graham, D.J., Reid, I. and Rice, S.P., 2005a. Automated sizing of coarse-grained sediments: Image-processing procedures. Mathematical Geology, 37(1): 1-28.

Graham, D.J., Rice, S.P. and Reid, I., 2005b. A transferable method for the automated grain sizing of river gravels. Water Resources Research, 41(7): 1-12.

Graham, D.J., Rollet, A.-J., Piégay, H. and Rice, S.P., 2010. Maximizing the accuracy of image-based surface sediment sampling techniques. Water Resources Research, 46.

Hoey, T.B. and Sutherland, A.J., 1991. Channel morphology and bedload pulses in braided rivers: a laboratory study. Earth Surface Processes and Landforms, 16(5): 447-462.

Landon, N., Piégay, H. and Bravard, J.-P., 1998. The Drôme River incision (France): from assessment to management. Landscape and Urban Planning, 43: 119-131.

Liébault, F. and Clément, P., 2007. La mobilité de la charge de fond des rivières torrentielles méditerranéennes. Géographie Physique et Quaternaire, 61(1): 7-20.

Liébault, F., Gomez, B., Page, M., Marden, M., Peacock, D., Richard, D. and Trotter, C.M., 2005. Land-use change, sediment production and channel response in upland regions. River Research and Applications, 21: 739-756.

Liébault, F. and Piégay, H., 2002. Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of Southeastern France. Earth Surface Processes and Landforms, 27(4): 425-444.

Liébault, F., Piégay, H., Frey, P. and Landon, N., 2008. Tributaries and the management of main-stem geomorphology. In: S.P. Rice, A. Roy and B.L. Rhoads (Editors), River Confluences, Tributaries and the Fluvial Network. John Wiley and Sons, Chichester, pp. 243-270.

Madej, M.A. and Ozaki, V., 1996. Channel response to sediment wave propagation and movement, Redwood Creek, California, USA. Earth Surface Processes and Landforms, 21: 911-927.

Marston, R.A., Bravard, J.-P. and Green, T., 2003. Impacts of reforestation and gravel mining on the Malnant River, Haute-Savoie, French Alps. Geomorphology, 55: 65-74.

Miramont, C., Jorda, M. and Pichard, G., 1998. Evolution historique de la morphogenèse et de la dynamique fluviale d'une rivière méditerranéenne: l'exemple de la moyenne Durance (France du Sud-Est). Géographie physique et Quaternaire, 52(3): 1-13.

Nicholas, A.P., 2000. Modelling bedload yield in braided gravel bed rivers. Geomorphology, 36: 89-106.

Peiry, J.-L., Salvador, P.-G. and Nouguier, F., 1994. L'incision des rivières dans les Alpes du nord: état de la question. Revue de Géographie de Lyon, 69(1): 47-56.

Piégay, H., Alber, A., Slater, L. and Bourdin, L., 2009. Census and typology of braided rivers in the French Alps. Aquatic Sciences, 71(3): 371-388.

Piégay, H. and Peiry, J.-L., 1997. Long profile evolution of a mountain stream in relation to gravel load management : example of the middle Giffre River (French Alps). Environmental Management, 21(6): 909-919.

Roberts, R.G. and Church, M., 1986. The sediment budget in severely disturbed watersheds, Queen Charlotte Ranges, British Columbia. Canadian Journal of Forest Research, 16(5): 1092-1106.

Slater, L., 2007. Caractérisation des rivières en tresses françaises. Unpublished MSc Thesis, ENS Lyon, 57 pp.

Smith, N.D., 1970. The braided stream depositional environment: comparison of the Platte River with some Silurian clastic rocks, North-Central Appalachians. Geological Society of America Bulletin, 81: 2993-3014.

“Caracterisation des habitats »

Alber et Piégay, 2008. Développements méthodologiques pour une analyse des discontinuités longitudinales structurant un réseau hydrographique.

Alber, A., Piégay, H, sous presse. Spatial aggregation procedure for characterizing physical structure of fluvial networks: application to the Rhône basin (France). Geomorphology.

Ashmore P., 1987. Bed load transfer and channel morphology in braided streams. Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim (Proceedings of the Corvaìllis Symposium, August 1987), 333-341.

Ashmore P., 1985. Process and form in gravel bed streams: laboratory modeling and field observation, Ph.D. Thesis, University of Alberta, 414 pp. In Ashmore P., 1987. Bed load transfer and channel morphology in braided streams. Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim (Proceedings of the Corvaìllis Symposium, August 1987), 333-341.

Ashmore, 1991. Channel morphology and bed load pulses in braided, gravel-bed streams. Geografiska Annaler, 73A(1), 37-52.

Ashmore, P. 2009. The intensity and characteristic length of braided channel patterns. Canadian Journal of Civil Engineering 36(10): 1656-1666

Barbier, A.M., 2006. Elaboration de méthodologies innovantes dans traitements des données satellitales dans un cadre agro-environnemental. Mémoire de Master SIGMA, ENSAT, Toulouse, 73 p.

Bertoldi W., Zanoni L., Tubino M., 2009. Planform dynamics of braided streams. Earth surf. Process. Landfroms 34, 547-557..

Brice J.C., 1964. Channel patterns and terraces of the Loup River in Nebraska. Geological. In Egozi R, Ashmore P., 2008. Defining and measuring braiding intensity. Earth surface processes and landforms, 33, 2121-2138.

Egozi R, Ashmore P., 2008. Defining and measuring braiding intensity. Earth surface processes and landforms, 33, 2121-2138.

Egozi, R, Ashmore, P, 2009. Experimental analysis of braided channel pattern response to increased discharge Journal of Geophysical Research-Earth Surface, 114

Ferguson R.I., 1993. Understanding braiding processes in gravel-bed rivers: progress and unsolved problem. In: Braided rivers. Best J.L and Bristow C.S. (eds.), Geological Soiety, special pubblication, p. 73-87.

Francis R.A., Corenblit D., Edwards P.J., 2009. Perspectives in biogeomorphology, ecosystem engineering and self-organisation in island braided fluvial ecosystem. Aquatic science.

Griffiths G.A., 1979. Recent sedimentation history of the Waimakariri River, New zeland. J. Hydrology 18, 6-28. In Ashmore P., 1987. Bed load transfer and channel morphology in braided streams. Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim (Proceedings of the Corvaìllis Symposium, August 1987), 333-341.

Howard A..D., Keetch M.E., Vincent C.L., 1970. Topological and geometrical properties of braided streams. In Egozi R, Ashmore P., 2008. Defining and measuring braiding intensity. Earth surface processes and landforms, 33, 2121-2138.

Hong L.D., Davies T.R.H., 1979. A study of stream braiding. In: Egozi R, Ashmore P., 2008. Defining and measuring braiding intensity. Earth surface processes and landforms, 33, 2121-2138.

Karaus, The Ecology of Lateral Aquatic Habitats along River Corridors , 2004. Ph.D. Thesis. University of Heidelberg, 177 pp.

Karaus U., Alder L., Tockner K., 2005. ‘‘Concave Islands’’: habitat heterogeneity of parafluvial ponds in a gravel-bed river. Wetlands 1, 26–37

Mosley P.M., 1981. Semi-determinate hydraulic geometry of river channel. In Egozi R, Ashmore P., 2008. Defining and measuring braiding intensity. Earth surface processes and landforms, 33, 2121-2138.

Lejot J., 2008. Suivi des formes fluviales par télédétection à très haute résolution. Application aux programmes de restauration de la basse vallée de l’Ain et du Haut-Rhône (Chautagne). Thèse de doctorat. Université de Lyon 2, 257 pp.

Liébault F., Piégay H., 2002. Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France. Earth Surface Processes and Landforms 27, 425-444.

Malard F., Uehlinger U., Zah R., Tockner K., 2006. Flood-pulse and riverscape dynamics in a braided glacial river. Ecology 87, 704-716.

Perez Correa M., 2004. Classification orientée objet d’images à très haute résolution spatiale : application à la cartographie de l’occupation des sols le long des cours d’eau. CEMAGREF, mèmoire du Master SILAT, 43 pp.

Piégay H., Peiry J.L., Gazelle F., 2003. Effets des ripisylves sur la dynamique du lit fluvial et de son aquifère. In: Les forêts riveraines des cours d'eau: écologie, fonction et gestion. Piégay H., Pautou G., Ruffinoni C. (eds.), Institute pour le Développement Forestier, p. 94-122.

Piégay H., Alber A., Slater L., Bourdin L., 2009. Census and typology of braided rivers in the French Alps. Aquatic Sciences, 71, 371-388.

Pettitt A.N., 1979. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. Applied Statistics 28, 126-135.

Pont D., Rogers C. (2004) Modélisation des distributions piscicoles à l'échelle du réseau français. Comparaison avec les Contextes. Etude réalisée pour le compte du Conseil Supérieur de la Pêche. Rapport Final. 116 pp.

Richards K.S., 1982. Rivers: Form and processes in Alluvial Channels. In Egozi R, Ashmore P., 2008. Defining and measuring braiding intensity. Earth surface processes and landforms, 33, 2121-2138.

Slater L., 2007. Caractérisation des rivières en tresses françaises. Mémoire de Master 2. Université de Lyon 2, 53 pp.

Tockner K., Malard F., 2003. Channel typology. In "Ecology of a glacial floodplain", edited by Ward J.V., Uehlinger U., 57-73.

Tockner K., Paetzold A., Karaus U., Claret C., Zettel J.., 2006. Ecology of braided rivers. In "Braided rivers: process, deposit, ecology and management", 2006. Edited by Sambrook Smith G.H., Best J.L., Bristow C.S., Petts G.E.. Special publication of the International Association of Sedimentologist.

Toone J., 2009. Geomorphological discontinuities and ecological organisation: a case study of the River Drome. Unpublished thesis.

Van Der Nat D., Tockner K., Edwards P.J., Ward J.V., Gurnell A., 2003. Habitat change in braided flood plains (Tagliamento, NE-Italy). Freshwater Biology (48, 1799–1812

Wiederkehr E., Dufour S., Piégay H., 2008.Apport des techniques d'imagerie pour l'étude des réseaux hydrographiques. Synthèse des connaissances et évaluation d'indicateurs de caractérisation. agence de l'eau RMC-ZABR-CEREGE, rapport non publié, 43 pp.

Wiederkehr E., Dufour S., Piégay H., 2009. Caracterisation du corridor naturel alluvial du réseau hydrographique du basin du Rhone à partir des orthophotographies de l'IGN. Premiers retours d'expérience pour l'elaboration de modèles hydrogéomorphologiques prèdictifs. Agence de l'eau RMC-ZABR-CEREGE, rapport non publié, 65 pp.

Wong T.H., Mansor S.B., Mispan M.R., Ahmad N., Sulaiman W.N.A., 2003. Feature extraction based on object oriented analysis. In Proceeding of ATC 2003 Conference 20-21 May 2003, Malaysia, 10 pp.

“Suivi expérimentaux”

Ashmore P., 1988. Bed load transporrt in braided gravel-bed stream models. Earth Surface Processes and Landforms, 13, 677-695.

Frey, P., et al. (2003), Fluctuations of bed load solid discharge and grain size distribution on steep slopes with image analysis, Experiments in fluids, 35, 589-597.

Hoey T., 1992. Temporal variations in bedload transport rates and sediment storage in gravel-bed rivers. Progress in Physical Geography, 16, 319-338.

Lisle, T.E., Iseya F., Ikeda H., 1993. Response of a channel with alternate bars to a decrease in supply of mixed-size bed load: A flume experiment. Water Resources Research, 29, 3623-2629.

Recking, A., 2006. Etude expérimentale de l'influence du tri granulométrique sur le transport solide par charriage. Thèse de doctorat Mécanique des Fluides, INSA Lyon. 261 p.

"Thermie"

Acuna, V., & Tockner, K., 2009. Surface-subsurface water exchange rates along alluvial river reaches control the thermal patterns in an Alpine river network. Freshwater Biology 54, 306-320.

Arscott, D. B., Tockner, K., & Ward, J. V., 2001. Thermal heterogeneity along a braided floodplain river (Tagliamento River, northeastern Italy). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 58, 2359-2373.

Caissie, D., 2006. The thermal regime of rivers: a review. Freshwater Biology, 51, 1389-1406.

Karaus, U., Alder, L., & Tockner, K., 2005. “Concave Islands“: Habitat Heterogeneity of Parafluvial Ponds in a Gravel-bed River. Wetlands, 25, 26-37.

Malard, F., Tockner, K., Dole-Olivier, M-J., & Ward, J.V., 2002. A landscape perpective of surface-subsurface hydrological exchanges in river corridors. Freshwater Biology 47, 621-640.

Mosley, M. P., 1983. Variability of water temperatures in the braided Ashley and Rakaia rivers. New Zealand journal of Marine and Freshwater Research, 17, 331-342.

Poole, G. C., & Berman, C. H., 2001. An Ecological Perspective on In-Stream Temperature: Natural Heat Dynamics and Mechanisms of Human-caused Thermal Degradation. Environmental Management 24(6), 787-802.

Torgersen, C. E., Faux, R. N., McIntosh, B. A., Poage, N. J., & Norton, D. J., 2001. Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams. Remote Sensing of Environment, 76(3), 386-398.

Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E., 1980. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37, 130-137.

ANNEXES

I. Arbre de classification optimisé

CLASSES	EXPRESSIONS			value sx	value dx
FOREST	or max	and min	HSI transformation Hue	0	0,47
			Brigthness	0	76,52
			Brigthness	0	131,24
		and min	GLCM Dissimilarity (quick 8/11) (all dir.)	0	16,53
			GLCM Homogeneity (quick 8/11) (all dir.)	0	0,12
			HSI transformation Hue	0	0,34
			Brigthness	76,52	255
			Brigthness	0	131,24
		and min	Standard deviation Layer3	0	10,55
			HSI transformation Hue	0,47	1
			Brigthness	0	76,52
			Brigthness	0	131,24
SHADOW	or max	and min	Standard deviation Layer3	10,55	127,5
			HSI transformation Hue	0,47	1
			Brigthness	0	76,52
			Brigthness	0	131,24
PIONEER SPARSE	or max	and min	HSI transformation Hue	0	0,44
			GLCM Homogeneity (quick 8/11) (all dir.)	0	0,11
			HSI transformation Hue	0,34	1
			Brigthness	76,52	255
			Brigthness	0	131,24
		and min	Brigthness	0	163,26
			GLCM Homogeneity (quick 8/11) (all dir.)	0,05	1
			Standard deviation Layer2	27,45	127,5
			Brigthness	0	178,85
			Brigthness	131,24	255
		and min	Brigthness	0	148,05
			GLCM Homogeneity (quick 8/11) (all dir.)	0	0,05
			Standard deviation Layer2	27,45	127,5
			Brigthness	0	178,85
			Brigthness	131,24	255
GRASSLAND	or max	and min	GLCM Homogeneity (quick 8/11) (all dir.)	0,12	1
			HSI transformation Hue	0	0,34
			Brigthness	76,52	255
			Brigthness	0	131,24
GRAVEL BAR	or max	and min	GLCM Homogeneity (quick 8/11) (all dir.)	0,08	1
			Brigthness	178,85	255
		and min	Standard deviation Layer2	23,69	127,5
			GLCM Homogeneity (quick 8/11) (all dir.)	0	0,08
			Brigthness	178,85	255
			Brigthness	131,24	255
		and min	HSI transformation Hue	0,39	1
			Max Difference	0,16	255
			Standard deviation Layer2	0	27,45
			Brigthness	0	178,85
			Brigthness	131,24	255
		and min	Brigthness	148,05	255
			GLCM Homogeneity (quick 8/11) (all dir.)	0	0,05
			Standard deviatio Layer2	27,45	127,5
			Brigthness	0	178,85
			Brigthness	131,24	255
WATER	or max	and min	GLCM Homogeneity (quick 8/11) (all dir.)	0,11	1
			HSI transformation Hue	0,34	1
			Brigthness	76,52	255
			Brigthness	0	131,24
		and min	Standard deviation Layer1	0	20,52
			Max Difference	0	0,16
			Standard deviation Layer2	0	27,45
			Brigthness	0	178,85
			Brigthness	131,24	255

II. Stations hydrologiques par tronçon et zone géographique

	Zone Géographique	NOM	DEPARTEMENT	ST_HYDRO_1		Distance Station-tronçon	Amont/Aval	Tributaires imp.	Chronique Dispo			Notes
				Code	Nom				début	fin	n.années	
Stations certaines	Nord	Arrondine	73 - Savoie	W0425010	LA CHAISE à UGINE [PONT DE SONEY]	13km	S_autreBassin		2001	2009	8	tributaire de l Arrondine
	Nord	Arve_(dis)	74 - haute savoie	V0222010	L'ARVE à ARTHAZ-PONT-NOTRE-DAME	8,7km	av		1967	2009	42	
	Nord	Cheran(dis)	73 - Savoie	V1255010	LE CHERAN à ALLEVES [LA CHARNIAZ]	4km	av		1950	2010	60	
	Nord	Dranse	74 - haute savoie	V0325010	LA DRANSE DE MORZINE à SEYTROUX [PONT DE COUVALOUP]	7,5km	av		1964	2009	45	noData1973
	Nord	Fier	74 - haute savoie	V1214010	LE FIER à DINGY-SAINT-CLAIR	1km	av		1906	2010	104	noData1914-20et1951-61
	Nord	Giffre	74 - haute savoie	V0144010	LE GIFFRE à TANINGES [PRESSY]	4km	av		1948	2008	60	
	Internes	Arvan	73 - Savoie	W1034010	L'ARC à SAINT-MICHEL-DE-MAURIENNE	19km	am_autreBassin		1948	2008	60	
	Internes	Durance A	05 - hautes - alpes	X0130010	LA DURANCE à L' ARGENTIERE-LA-BESSEE	6km	am		1910	2010	100	noData1930-51et1979-83et1987
	Internes	Romanche	05 - hautes - alpes	W2714010	LA ROMANCHE à MIZOEN [CHAMBON AMONT]	16km	av		1948	2008	60	
	Internes	Severaisse	05 - hautes - alpes	W2114010	LA SEVERAISSE à VILLAR-LOUBIERE	14km	am		1969	2010	41	
	Pro-glaciaires	Averole	73 - Savoie	W1006010	L'AVEROLE à BESSANS	1,7km	am		1969	2008	39	noData1996-97
	Pro-glaciaires	Tinee	06 - Alpes Maritimes	X2002020	LE VERDON à ALLOS [LA FOUX]	26km	W_autreBassin		1978	2009	31	noData1979
	Sud-Est	Asse_BM	04 - alpes-de-haute-provence	X1424010	L'ASSE à BEYNES [CHABRIERES]	6,5km	am		1953	2009	56	noData1978
	Sud-Est	Asse de Blieux	04 - alpes-de-haute-provence	X1424010	L'ASSE à BEYNES [CHABRIERES]	17km	av		1953	2009	56	noData1979
	Sud-Est	Asse_av	04 - alpes-de-haute-provence	X1424010	L'ASSE à BEYNES [CHABRIERES]	27km	am		1953	2009	56	noData1980
	Sud-Est	Bes Bl	04 - alpes-de-haute-provence	X1225010	LE BES à LA JAVIE [ESCLANGON-PEROURE]	4,5km	am		1963	2010	47	noData1970
	Sud-Est	Buech (L)	04 - alpes-de-haute-provence	X1034020	LE BUECH à SERRES [LES CHAMBONS]	35km	am		1969	2009	40	
	Sud-Est	Buech (A)	04 - alpes-de-haute-provence	X1034020	LE BUECH à SERRES [LES CHAMBONS]	25km	am		1969	2009	40	
	Sud-Est	Buech (dis)	05 - hautes - alpes	X1034020	LE BUECH à SERRES [LES CHAMBONS]	9km	av		1969	2009	40	
	Sud-Est	Jabron_3	83 - Var	X2305010	LE JABRON à COMPS-SUR-ARTUBY [PONT DE L'EVESCAT]	6,5km	am		1975	2010	35	
	Sud-Est	Ubaye	04 - alpes-de-haute-provence	X0434010	L'UBAYE à BARCELONNETTE [ABATTOIR]	2km	av		1967	2009	42	
	Sud-Est	Verdon	04 - alpes-de-haute-provence	X2202010	LE VERDON à DEMANDOLX [CASTILLON]	12,5km	av		1948	2008	60	
	Sud-Est	Verdon_(dis)	04 - alpes-de-haute-provence	X2202010	LE VERDON à DEMANDOLX [CASTILLON]	30km	av		1948	2008	60	
	Sud-Ouest	Ardeche (dis)	07 - Ardéche	V5014010	L'ARDECHE à VOGUE	2km	av		1967	2010	43	
	Sud-Ouest	Bes Dr	26 - Drome	V4225010	LE BEZ à CHATILLON-EN-DIOIS	5,2km	am		1963	2010	47	
	Sud-Ouest	Calavon (dis)	84 - Vaucluse	X3434010	LE COULON à SAINT-MARTIN-DE-CASTILLON [COSTE RASTE]	15km	am		1964	2010	46	
	Sud-Ouest	Drome_(dis)	26 - Drome	V4214010	LA DROME à LUC-EN-DIOIS	1,7km	am		1907	2010	103	noData1934
	Sud-Ouest	Drome_LenD	26 - Drome	V4214010	LA DROME à LUC-EN-DIOIS	7km	am	Bes	1907	2010	103	noData1934
	Sud-Ouest	Drome Liv	26 - Drome	V4264010	LA DROME à SAILLANS	22km	am		1966	2010	44	noData1996
	Sud-Ouest	Durance O	84 - Vaucluse	X3200010	LA DURANCE à MEYRARGUES [PONT PERTUIS]	35km	am	amenagé	1994	2010	16	
	Sud-Ouest	Ouveze	84 - Vaucluse	V6052010	L'OUVEZE à VAISON-LA-ROMAINE	3km	down		1971	2002	31	
	Sud-Ouest	Ouveze_av	05 - hautes - alpes	V6052011	L'OUVEZE à VAISON-LA-ROMAINE	20km	up		1971	2002	31	
	Sud-Ouest	Roubion	26 - Drome	V4414010	LE ROUBION à SOYANS	15km	am		1965	2010	45	
Stations incertaines	Internes	Drac amont	05 - hautes - alpes	W2222010	LE DRAC à CORPS [LE SAUTET]	28km	av	Seveirasse	1969	1999	30	incomplete
	Internes	Drac middle	05 - hautes - alpes	W2222010	LE DRAC à CORPS [LE SAUTET]	9km	av	Seveirasse	1969	1999	30	incomplete
	Internes	Drac Noir	05 - hautes - alpes	W2035010	LE TORRENT DE MALCROS à CHAMPOLEON	10km	O_autreBassin		1982	2010	28	
	Internes	Veneon	38 - Isere		Romanche	10km	E_autreBassin					validé Diren
	Sud-Est	Bleone am	04 - alpes-de-haute-provence		Bes_Bl	6km	am					
	Sud-Est	Bleone av	04 - alpes-de-haute-provence		Bes_Bl	35km	am					
	Sud-Est	Sasse	04 - alpes-de-haute-provence		Bes_Bl	24km	S-E					
	Sud-Est	PetitBuech	05 - hautes - alpes	X1034020	LE BUECH à SERRES [LES CHAMBONS]	5km	down		1969	2009	40	
	Sud-Ouest	Lez	26 - Drome		Roubion	15km	N					
	Sud-Ouest	Lez (A)	05 - hautes - alpes		Roubion	15km	N					
	Sud-Ouest	Sure	26 - Drome	V4275010	LA GERVANNE à BEAUFORT-SUR-GERVANNE	10km	O_autreBassin		1966	2010	44	validé Diren
Stations problématiques	Internes	Vanson SS	04 - alpes-de-haute-provence		Asse	25km	S-E					
	Pro-glaciaires	Bans	05 - hautes - alpes	X0015010	LA GUISANE AU MONETIER-LES-BAINS [LE CASSET]	18km	Nord_autreBassin		1978	2009	31	
	Pro-glaciaires	Fournel	05 - hautes - alpes	X0015010	LA GUISANE AU MONETIER-LES-BAINS [LE CASSET]	22km	Nord_autreBassin		1978	2009	31	
	Sud-Est	Jabron_2	04 - alpes-de-haute-provence		Asse	33km	S-E					
	Sud-Est	Meouge	26 - Drome		Buech	25km	N					
	Sud-Est	Trt de Maraise	05 - hautes - alpes		Buech	9km	W_aval					
	Sud-Est	Var	06 - Alpes Maritimes	Y6002030	LE VAR à VILLENEUVE-D'ENTRAUNES [PONT D'ENAUX]	15km	am		2000	2009	9	Verdon pour cronique
	Sud-Ouest	Aigue C	84 - Vaucluse	V5324010	L'AYGUES à SAINT-MAY [PONT DE LA TUNE]	40km	am		1967	1995	28	incomplete-réprise en 2008
	Sud-Ouest	Escoutay	07 - ArdÞche									NO station
	Sud-Ouest	Eygues R	26 - Drome	V5324009	L'AYGUES à SAINT-MAY [PONT DE LA TUNE]	13km	av		1967	1995	28	incomplete-réprise en 2008
	Sud-Ouest	Eygues_milieu	26 - Drome	V5324010	L'AYGUES à SAINT-MAY [PONT DE LA TUNE]	25km	am		1967	1995	28	incomplete-réprise en 2008

III. Tableau de données (1)

		PARAMETRES GENERAUX						DONNEES HYDROLOGIQUES							BANDE ACTIVE ET FLUVIALE						
ID	NAME	Longueur tronçons	FDV Surface (km²)	FDV Largeur (m)	Altitude (m)	Pente (m/km)	BV Surface (km²)	Qj Fréq	Qj (m³/s)	Module (m³/s)	N. MOIS Q2	N. MOIS Q5	N. MOIS Q10	N. MOIS Q20	BA Surface (km²)	BA Largeur (m)	BA Largeur Norm (m/km^0,43)	BF Surface (km²)	BF largeur (m)	BF Largeur Norm (m/km^0,38)	BF Sinuosité
1	Ardeche	2476,98	2166415,49	710,06	160,00	3,94	626,60	0,30	6,66	26,40	17	65	65	114	179905,25	65,09	2,60	202273,50	86,32	7,27	1,03
2	Arrondine	1236,83	212785,68	113,20	1029,90	43,30	65,65	0,50	0,98	2,46	6	6	6	33	39715,50	37,60	4,64	42950,98	37,93	7,60	1,04
3	Arvan	1152,44	228699,27	173,01	624,90	27,44	222,49	0,40	0,94	31,20	27	71	71	71	44481,25	36,70	2,46	67409,58	67,99	8,53	1,08
4	Asse_BM	3214,79	2015461,16	532,18	583,10	7,86	443,15	0,10	0,53	4,53	19	19	56	56	441896,75	136,48	6,48	513486,59	163,82	15,77	1,02
5	Asse_av	2757,74	601428,26	230,58	762,00	15,40	355,00	0,10	0,53	4,53	19	19	56	56	331186,96	75,97	4,03	361477,79	132,85	13,93	1,02
6	Averole	1838,56	334190,79	166,31	1787,00	23,00	279,10	0,60	1,59	2,00	50	74	143	143	139705,75	76,08	4,55	146568,78	80,57	9,26	1,04
7	Bans	985,94	56895,87	59,88	1654,00	52,50	77,50	0,60		2,81	109	301	301	301	73147,81	88,05	10,00	94925,70	97,49	18,34	1,04
8	Bes_Bl	2657,83	498745,80	156,82	685,00	11,79	228,96	0,20	0,93	2,83	1	128	305	305	276989,75	110,33	7,29	330619,07	132,06	16,38	1,03
9	Bleone_am	3332,82	1624220,18	377,30	710,00	12,25	317,78	0,20	0,93	2,83	1	128	305	305	601061,25	182,41	10,23	652564,35	203,43	22,25	1,02
10	Buech_L	4739,05	3251929,37	514,32	500,00	2,83	1481,90	0,05	1,46	14,20	8	8	8	32	1141105,75	242,47	6,30	1212634,74	265,13	16,05	1,02
11	Drac_am	2324,80	2329230,72	769,86	1104,95	12,20	264,00	0,70		33,40	8	26	58	58	232203,80	103,15	6,35	246251,93	109,71	12,89	1,03
12	Drac_middle	2463,56	722202,78	226,83	852,50	12,70	545,00	0,70		33,40	8	26	58	58	200728,50	81,06	3,47	229176,03	95,75	8,51	1,03
13	Drac_noir	1912,46	793574,74	339,20	1412,75	43,28	98,59	0,80	0,06	0,04	1	1			179737,25	96,65	9,73	217598,32	109,50	18,78	1,09
14	Dranse	1604,45	365305,04	170,91	799,95	20,91	152,51	0,30	3,70	7,53	61	173	281	281	57149,50	37,35	3,02	62702,48	39,91	5,79	1,08
15	Drome_dis	2112,15	1108162,79	392,55	505,00	6,86	280,78	0,20	0,34	2,81	29	29	29	29	94778,00	45,24	2,70	104542,47	49,59	5,69	1,06
16	Drome_LenD	3198,40	2100461,70	542,88	440,95	7,80	629,52	0,20		8,11	29	29	29	29	463106,50	142,41	5,68	522094,56	166,75	14,03	1,03
17	Durance_A	2794,88	1769415,66	491,03	900,75	4,54	1185,95	0,60	25,50	27,40	109	301	301	301	244571,50	87,98	2,55	258866,05	94,45	6,23	1,08
18	Escoutay	1832,52	764087,44	352,97	81,45	4,79	165,56				7	12	66	66	89083,00	46,03	3,58	108274,73	64,76	9,10	1,17
19	Fier	2470,39	937639,97	305,45	537,05	8,22	221,49	0,20	2,25	9,45	5	5	152	425	149762,00	61,65	4,14	172346,63	71,15	8,94	1,08
20	Fournel	1532,37			1568,50	42,20	36,69	0,60		2,81	109	301	301	301	95685,25	66,18	10,93	137638,17	91,96	23,05	1,03
21	Jabron_2	2264,68	982817,03	375,64	477,00	4,40	207,00	0,10		4,53	19	19	56	56	276136,00	122,98	8,55	291995,74	130,89	16,88	1,03
22	Jabron_3	1587,37	787374,23	400,10	737,55	11,20	117,00	0,40	0,18	0,61	6	6	6	6	88688,25	58,87	5,44	98132,45	67,02	10,76	1,08
23	Lez_A	1136,85	350414,57	248,09	394,95	13,70	96,00	0,20		1,30	30	30	30	30	27248,75	23,91	2,44	32081,54	32,56	5,64	1,10
24	Lez_L	1049,19	336852,29	238,38	394,95	13,66	96,12	0,20		1,30	30	30	30	30	26873,00	25,50	2,60	30865,92	33,91	5,87	1,09
25	Meougue	2033,34	455692,35	177,64	721,50	11,00	163,56	0,20	2,71	5,30	30	30	43	64	68985,75	35,03	2,74	79141,48	42,74	6,03	1,15
26	Ouveze_am	1908,43	949719,47	435,03	195,00	7,33	587,34	0,60	0,79	6,07	17	17	17	17	147664,75	79,38	3,28	162034,58	90,28	7,80	1,04
27	Ouveze_av	2886,96	18592162,82	4591,67	77,10	4,60	725,00	0,70	0,89	6,07	17	17	17	17	268617,50	94,57	3,51	280030,68	101,03	8,05	1,04
28	PetitBuech	2800,85	1506737,12	368,46	766,45	9,20	321,00	0,05		5,30	8	8	8	32	291148,24	106,75	5,96	330155,23	120,83	13,17	1,07
29	Romanche	1707,97			1690,00	41,00	179,96	0,80	14,00	7,42	34	99	99	419	89534,75	54,73	4,08	103982,14	65,09	8,86	1,03
30	Sasse	4199,76	1463871,94	282,65	557,65	10,04	327,33	0,10	0,65	2,83	1	128	305	305	439985,50	104,93	5,80	512830,17	125,99	13,63	1,04
31	Seveirasse	2217,13	576050,43	220,80	841,15	16,12	221,06	0,70	5,83	5,09	8	26	58	58	114514,50	52,65	3,54	131304,61	60,12	7,56	1,06
32	Sure	2293,41			537,45	18,55	54,82	0,20	0,15	1,03	30	30	30	30	65960,00	30,24	4,08	70711,67	32,10	6,90	1,06
33	Tinee	1577,63			1597,00	16,19	40,00			0,31	14	79	79	79	127409,50	78,52	12,41	131461,82	86,21	20,90	1,03
34	TrtDeMaraise	1566,00	746463,54	393,60	1017,30	11,40	68,00	0,05		5,30	8	8	8	32	44454,50	28,16	3,42	50877,13	33,17	6,56	1,05
35	Vanson_SS	1327,35	291446,13	191,33	726,00	32,66	91,47	0,10		4,53	19	19	56	56	50422,25	39,38	4,12	59478,45	48,89	8,63	1,08
36	Var	3191,33	562106,96	129,17	748,35	17,15	342,43	0,30		6,28	7	20	20	20	466403,90	147,21	7,96	490166,08	166,02	17,65	1,04
37	Veneon	2556,48	1631056,21	543,24	958,60	18,00	311,01	0,80	14,00	7,42	34	99	99	419	411849,25	162,76	9,23	439928,72	187,71	20,70	1,03
38	Verdon	3616,75	1135042,24	247,30	917,20	8,39	421,10	0,30	4,28	12,90	7	20	20	20	497848,37	142,92	6,96	555070,89	170,24	16,71	1,03
39	Arve_dis	3264,81	4691174,64	1092,05	436,00	4,46	1567,82	0,60	70,20	74,40	5	39	172	429	299829,25	93,27	2,36	404306,51	126,59	7,50	1,03
40	Asse_Blieux	2187,55	2209080,27	608,24	394,65	7,30	625,00	0,10	0,53	4,53	19	19	56	56	148214,54	121,81	4,87	164689,55	80,02	6,75	1,02
41	Buech_dis	1789,34	1111607,11	576,54	766,80	5,50	321,48	0,05	1,46	14,20	8	8	8	32	76026,75	43,03	2,40	86716,34	48,75	5,31	1,12
42	Buech_A	5816,82	4908248,40	631,52	557,55	8,49	1171,00	0,05	1,46	14,20	8	8	8	32	1439545,10	257,46	7,52	1734135,65	302,45	20,05	1,04
43	Eygues_milieu	3119,68	5253066,46	1361,87	217,10	8,91	864,00	0,20		6,20	30	30	30	30	384259,00	129,97	4,42	426093,21	139,54	10,39	1,14
44	Eygues_R	1558,92	366912,24	190,84	570,00	6,70	150,51	0,20		6,20	29	29	29	29	60152,69	41,53	3,39	63846,77	44,67	6,51	1,03
45	Roubion	2504,74	1914570,36	610,84	171,85	6,82	346,61	0,20	0,20	1,90	30	30	30	30	230842,75	93,63	5,03	252623,77	103,43	10,94	
46	Aigue_C	3800,00	4966077,77	1306,86	75,30	4,11	1008,69	0,70		6,20	17	17	17	17	623185,44	168,34	5,30				
47	Bleone_av	4293,11	3356705,08	547,70	445,00	7,16	908,62	0,20	0,93	2,83	1	128	305	305		180,52	5,99				
48	Drome_Liv	4006,58	11638737,54	1839,05	184,40	5,24	1537,94	0,20	3,31	17,70	30	30	30	30		190,91	4,87				
49	Giffre	2280,75	2151183,32	747,35	639,80	6,35	261,48	0,80	28,10	18,80	1	1	5	61	223045,08	100,18	6,20	264307,65	116,17	13,70	
50	Verdon_dis	3106,12	1293065,22	305,45	1264,30	20,01	254,31	0,30	4,28	12,90	7	20	20	20	233847,22	76,63	4,81	262943,91	105,52	12,57	
51	Bes_Dr	3220,75	1134686,21	268,04	497,00	7,86	276,80	0,20	0,84	4,27	30	30	30	30				311260,66			
52	Durance_O	7890,00	32805585,94	7749,47	95,85	2,25	12972,27	0,20	7,03	26,00	17	17	54	54							
53	Ubaye	1387145,62		1170,00	9,03	561,49	0,80	13,00	10,60	16	37	38	45								

III. Tableau de données (2)

		SURAFCE ÎLES (m²)			PERIMETRE ÎLES (m)			PROPORTION ÎLES				SURFACE HABITATS AQUATIQUES (m²)								PERIMETRE HABITATS AQUATIQUES (m)							
ID	NAME	Forêt	Pion.	Prairie	Forêt	Pion.	Prairie	% Forêt	% Pion.	% îles	n.îles/km²	AL	GW	MC	MIX	P	SC	T	WL	AL	GW	MC	MIX	P	SC	T	WL
1	Ardeche	3200,23	19168,02		601,64	4103,60		1,58	9,48	11,06	74,16	1211,53	2680,19	85977,35		67,50	11423,14		5297,25	341,52	942,22	9005,63		101,00	3158,07		1417,00
2	Arrondine		3235,48		0,00	947,97			7,53	7,53	139,69	266,63		8963,14	135,02	349,83	2596,23			214,41		3679,24	173,16	422,36	2045,38		
3	Arvan	11495,62	11432,71		1073,49	2563,55		17,05	16,96	34,01	207,69	1846,51		13118,09	22,20	1528,25	2184,37			768,02		3581,03	41,88	840,00	1069,39	1190,38	
4	Asse_BM	4054,05	67535,79		1080,95	14886,16		0,79	13,15	13,94	116,85	10483,97		26577,39	5984,34	1592,67	8512,10			7216,23		9694,22	3903,19	1469,75	5708,20	0,00	
5	Asse_av	381,19	29909,65		84,72	7637,53		0,11	8,27	8,38	102,36	226,77		10945,18	1201,41	902,12	3214,82	112,00		339,08		5661,91	1068,38	914,11	2549,48	141,00	
6	Averole	5989,77	873,27		1553,08	437,71		4,09	0,60	4,68	68,23	96,93		9025,64	68,32		3067,68	403,00		77,19		5314,43	80,91		2120,47	235,37	
7	Bans	13449,33	8328,55		3395,10	3444,06		14,17	8,77	22,94	252,83	83,36		6898,14	462,73	112,56	5894,59	1767,94		137,45		3461,31	652,09	207,07	4503,96	1033,04	
8	Bes_Bl	15095,14	38534,18		3859,26	9860,77		4,57	11,66	16,22	157,28	848,73		23286,42	446,74	662,75	6730,46			744,03		7933,44	361,46	483,00	4001,80		
9	Bleone_am	31367,46	20135,64		8192,19	7187,48		4,81	3,09	7,89	165,50	6054,29	3244,66	28407,96	1942,35	6378,67	19431,34			4773,70	2297,05	9971,23	1901,46	5020,69	12094,45		
10	Buech_L	13032,82	58496,17		2088,62	10736,94		1,07	4,82	5,90	50,30	21372,06	1251,20	83519,32	7894,99	11656,00	17732,08			8990,92	404,22	15789,26	2862,78	6467,00	6616,11		
11	Drac_am	2296,07	11752,06		779,10	4039,03		0,93	4,77	5,70	134,01	6848,58		22057,62	1272,32	4144,82	19078,62			4688,65		6620,51	790,09	2457,28	8888,32		
12	Drac_middle	16166,52	12281,01		2532,40	3882,73		7,05	5,36	12,41	183,27	2061,58		36111,27	346,35	1306,41	4501,60			1204,71		7195,37	279,28	839,79	1931,84		
13	Drac_noir	33315,13	4545,94		5701,86	1950,19		15,31	2,09	17,40	188,42	538,98		13211,63	1080,99	315,25	8072,82			533,10		5306,60	798,47	455,00	6426,25		
14	Dranse	3463,58	2089,39		747,96	1086,75		5,52	3,33	8,86	143,54	1475,33		18038,28	630,70	504,75	1882,69			1153,95		4641,60	387,52	555,00	1067,63		
15	Drome_dis	6405,34	3359,12		1491,00	1872,98		6,13	3,21	9,34	181,74	243,09		13964,27	0,00	107,75	3085,64		525,25	332,03		5828,53		117,00	2619,37		130,00
16	Drome_LenD	31968,65	25362,04	1657,38	6844,20	9918,12	296,12	6,12	4,86	11,30	204,94	3806,81	164,50	40234,67	975,65	6947,16	12974,53		485,50	2949,60	102,00	9311,99	685,57	4576,31	6754,77		167,00
17	Durance_A	8973,08	5321,47		1444,94	2357,85		3,47	2,06	5,52	92,71	20608,83		80809,08	1807,17	238,50	20175,74			4905,61		8474,65	743,84	191,00	6018,25		
18	Escoutay	5277,68	13914,05		1328,62	4224,27		4,87	12,85	17,73	240,13	73,19		17871,41	62,65		1679,16		1289,50	102,98		5987,73	86,31		863,96		788,00
19	Fier	13720,35	8864,28		2812,82	4143,61		7,96	5,14	13,10	214,68	109,59		45056,05	2191,56	2740,75	4515,97			94,47		7213,84	943,61	1959,00	1813,64		
20	Fournel	14266,99	27685,92		1965,53	7070,52		10,37	20,12	30,48	239,76	13,18		7062,44		50,00	270,02			26,68		5113,12		75,00	360,91		
21	Jabron_2	1913,62	13946,12		586,88	3598,38		0,66	4,78	5,43	95,89	1793,31	923,52	15657,18	489,30	939,50	1864,70			1551,90	741,08	6824,61	340,47	798,00	880,78		
22	Jabron_3	695,29	8748,91		167,33	3021,16		0,71	8,92	9,62	214,00	213,39		14159,70	293,47	68,00	642,63			219,44		5665,10	174,63	51,00	470,86		
23	Lez_A	560,26	4272,53		195,48	2084,45		1,75	13,32	15,06	467,56	135,00		5045,05	83,63		400,79			201,99		3044,44	111,86		468,51		
24	Lez_L	444,16	3548,76		211,38	1528,74		1,44	11,50	12,94	453,57	214,26		5750,79			312,16	257,14		113,44		2920,96			227,06	190,77	
25	Meougue	4351,53	5804,20		1167,65	2357,02		5,50	7,33	12,83	277,98	280,45		11557,58	490,65	246,26	90,40			191,66		5712,08	354,15	201,56	91,72		
26	Ouveze_am	2982,17	11387,66		843,93	4068,93		1,84	7,03	8,87	160,46	1126,78	137,59	26454,44	324,33	1932,00	8213,17	296,70		877,93	135,35	5243,44	255,43	1063,00	3589,03	222,30	
27	Ouveze_av		11413,18		0,00	4277,56			4,08	4,08	67,85	5785,79		47313,15	2664,77	1870,03	8894,47			3319,63		8442,79	1140,81	1330,15	3981,81		
28	PetitBuech	16718,08	22288,91		3629,36	9685,67		5,06	6,75	11,81	251,40	462,18	4289,11	22268,39	1673,11	51,50	1993,57			506,83	1668,71	8495,01	982,42	58,00	1438,00		
29	Romanche	549,07	13898,31		168,67	4069,16		0,53	13,37	13,89	163,49	1664,11		17135,08	1048,51		4820,30			1220,00		5198,92	657,80		3265,36		
30	Sasse	31481,57	41363,10		5993,66	11222,13		6,14	8,07	14,20	195,00	9003,80		24307,61	1389,42	1639,71	3737,34			6803,51		11874,37	1274,35	1445,28	2376,26		
31	Seveirasse	8048,26	8741,86		1668,59	3048,04		6,13	6,66	12,79	243,71	173,60		19640,86	82,70		3053,52			217,96		6599,00	106,63		1926,11		
32	Sure		4751,67		0,00	2442,81			6,72	6,72	254,55	118,42		9223,40		323,25	102,16			191,98		6103,87		349,00	146,90		
33	Tinee	2439,47	1612,85		728,65	814,95		1,86	1,23	3,08	76,07	0,00	949,51	11201,96			2847,20	1758,90		0,00	771,00	5120,89	120,56		1885,24	1125,63	
34	TrtDeMaraise	3193,81	3228,82		1172,02	1789,64		6,28	6,35	12,62	432,41	29,79		5143,70	98,58	48,75	127,84			35,29		4231,24		40,00	133,88		
35	Vanson_SS	6355,37	2700,83		1312,64	953,88		10,69	4,54	15,23	201,75	11,10		8633,24	332,39	294,25	259,11			19,60		3805,90	300,83	272,00	282,91		
36	Var	6271,72	17490,46		1568,37	3998,32		1,28	3,57	4,85	67,32	11491,86		44591,56	2049,23	1900	29150,02	2170,42		6886,84		9304,40	1426,81	1703,43	15160,75	1661,56	
37	Veneon	17317,14	10762,34		4094,94	4260,22		3,94	2,45	6,38	125,02	2848,72	7004,89	42313,44	10565,56	3040,46	24808,19	1033,53		1156,03	1900,12	7199,76	2722,26	1453,27	7456,28	327,84	
38	Verdon	19241,10	37981,42		4824,99	10183,48		3,47	6,84	10,31	153,13	5332,64		52318,01	2602,79	4288,54	43277,43			3314,49		10081,51	1721,54	2749,14	15944,11		
39	Arve_dis	50792,74	16383,80	37300,72	3768,30	3232,79	4099,82	12,56	4,05	25,84	46,99	2618,81		186621,09		78,75	34525,82	2017,74	3052,25	1507,97		10102,60		68,00	8473,35		892,00
40	Asse_Blieux	164,62	16310,39		60,32	4581,26		0,10	9,90	10,00	127,51	4645,68		13722,57	1063,88	6939,73	0,00			3271,54		7426,61	777,39	4797,41			
41	Buech_dis	7896,28	2793,31		1430,97	1389,00		9,11	3,22	12,33	196,04	73,04		15401,94	271,79	433,31	865,65			123,22		4380,71	226,55	433,55	556,08		
42	Buech_A	151518,34	143072,21		18455,10	32456,99		8,74	8,25	16,99	124,56	24406,17	2570,25	75915,14	3227,88	15341,03	14459,99	1808,82	11,70	9753,63	2095,00	18014,84	1073,34	7761,37	4104,32	1032,05	
43	Eygues_milieu	8991,20	32843,01		1436,71	12576,87		2,11	7,71	9,82	147,85	7022,14		27019,50	1548,17	4207,59	10764,03			4068,11		9056,18	866,84	3337,75	5079,38		
44	Eygues_R	385,85	3308,23		181,14	1871,26		0,60	5,18	5,79	219,28	331,45		8692,87	622,43	22,00	1256,90	222,51		366,26		4219,67	486,48	23,00	1066,40	219,34	
45	Roubion	871,98	20909,04		335,62	6237,62		0,35	8,28	8,62	134,59	0,00		0,00		926,10								526,16			
46	Aigue_C											21146,92		74335,98	515,87	4052,23	51362,22			9527,16		11276,51	277,17	2671,85	15733,70		
47	Bleone_av											24025,96	5052,31	47888,99	5963,47	12951,00	46150,52			13921,98	2597,21	13243,41	3484,17	8317,00	22072,70		
48	Drome_Liv											7941,76		78962,13	2532,03	9170,00	23415,80			4771,09		13105,58	1601,99	6315,00	9319,65		
49	Giffre	21636,57	19626,01		3458,24	5260,99		8,19	7,43	15,61	132,42	3605,23		53250,73	2059,87	2995,25	37998,94			2147,33		6754,13	1061,69	2350	12105,75		
50	Verdon_dis	8099,97	20996,72		1693,10	5823,49		3,08	7,99	11,07	129,31	365,11		9247,12	1926,65	2682,00	3681,16			365,11		9247,12	1926,65	2682,00	3681,16		
51	Bes_Dr	55182,12	21520,04		9518,43	10174,54		17,73	6,91	24,64	382,32	2374,49	446,11	24911,00	765,92	2858,43	5018,93		1316,25	1856,13	425,81	8486,54	701,68	1975,66	3680,35		441,00
52	Durance_O											35882,59	1935,75	428565,52	1634,57	37220,90	46349,35			8850,57	798,00	25152,34	247,69	10595,64	6654,45		
53	Ubaye											15501,79		56977,09	8671,54	8361,25	45578,13										

III. Tableau de données (3)

		PROPORTION HABITATS AQUATIQUES						INDICES DE DIVERSITE				CHENAL PRINCIPAL				INDICES DE TRESSAGES			ZONE DE TRESSAGE ACTIVE		
ID	NAME	AL	GW	MC	MIX	P	SC	Richness	Shannon (H')	Evenness	Dominance	Amplitude (m)	Longueur d'onde (m)	Sinuosité	distance centerline (%)	Pttw	Ptfw	Pttw-Ptfw	Largeur (m)	Largeur normalisé (m/km^0,63)	distance centerline (%)
1	Ardeche	0,0120	0,0264	0,8482		0,0007	0,1127	6	0,71	0,396	1,082	3,75	49,99	1,82	0,05	2,73	2,46	0,28	57,52	0,15	1,77
2	Arrondine	0,0217		0,7281	0,0110	0,0284	0,2109	5	0,793	0,493	0,816	4,98	46,31	1,49	0,04	2,64	2,31	0,33	14,16	0,34	0,75
3	Arvan	0,0987		0,7015	0,0012	0,0817	0,1168	5	0,941	0,585	0,669	7,01	58,36	1,55	0,07	2,73	2,02	0,72	15,95	0,11	0,87
4	Asse_BM	0,1973		0,5000	0,1126	0,0300	0,1602	5	1,311	0,815	0,298	5,03	38,53	1,51	0,00	4,35	2,40	1,96	22,79	0,08	0,33
5	Asse_av	0,0138		0,6637	0,0729	0,0547	0,1950	6	1,033	0,577	0,759	3,69	43,74	1,03	0,07	1,91	1,49	0,42	5,05	0,02	0,13
6	Averole	0,0079		0,7363	0,0056	0,0000	0,2502	5	0,76	0,472	0,849	2,85	22,29	1,45	0,11	2,06	2,02	0,04	8,67	0,05	0,23
7	Bans	0,0062		0,5128	0,0344	0,0084	0,4382	6	1,147	0,64	0,645	3,78	26,38	1,76	0,18	4,54	4,04	0,51	57,46	1,18	1,31
8	Bes_Bl	0,0265		0,7283	0,0140	0,0207	0,2105	5	0,795	0,494	0,814	6,43	55,30	1,49	0,04	2,54	2,25	0,30	33,42	0,23	0,61
9	Bleone_am	0,0925	0,0496	0,4340	0,0297	0,0974	0,2968	6	1,423	0,794	0,369	5,23	39,32	1,50	0,19	5,41	3,31	2,10	33,44	0,17	0,37
10	Buech_L	0,1490	0,0087	0,5823	0,0550	0,0813	0,1236	6	1,262	0,704	0,53	6,67	63,56	1,67	0,04	4,34	2,36	1,98	29,38	0,03	0,24
11	Drac_am	0,1282		0,4130	0,0238	0,0776	0,3573	5	1,284	0,798	0,326	8,51	64,26	1,42	0,14	5,04	3,34	1,71	49,54	0,30	0,96
12	Drac_middle	0,0465		0,8147	0,0078	0,0295	0,1016	5	0,684	0,425	0,926	11,39	78,63	1,46	0,15	2,32	1,85	0,47	21,49	0,06	0,53
13	Drac_noir	0,0232		0,5690	0,0466	0,0136	0,3477	5	0,977	0,607	0,633	3,53	32,27	1,39	0,01	3,53	3,07	0,47	27,00	0,43	0,56
14	Dranse	0,0655		0,8006	0,0280	0,0224	0,0836	5	0,749	0,465	0,86	5,80	46,63	1,45	0,13	2,43	1,78	0,65	14,94	0,16	0,80
15	Drome_dis	0,0140		0,8025		0,0062	0,1773	5	0,69	0,429	0,92	4,06	66,33	1,38	0,01	2,11	2,00	0,11	14,10	0,08	0,62
16	Drome_LenD	0,0585	0,0025	0,6180	0,0150	0,1067	0,1993	7	1,137	0,584	0,809	7,62	57,19	1,46	0,08	3,81	2,51	1,30	39,82	0,10	0,56
17	Durance_A	0,1667		0,6536	0,0146	0,0019	0,1632	5	0,946	0,588	0,663	13,29	103,14	1,52	0,05	3,64	2,59	1,04	61,58	0,08	1,40
18	Escoutay	0,0037		0,9078	0,0032	0,0000	0,0853	5	0,547	0,34	1,062	6,56	45,87	1,63	0,03	1,92	1,87	0,05	16,33	0,16	0,71
19	Fier	0,0020		0,8250	0,0401	0,0502	0,0827	5	0,656	0,408	0,953	7,32	63,39	1,46	0,05	2,43	1,83	0,61	22,50	0,16	0,73
20	Fournel	0,0018		0,9549		0,0068	0,0365	4	0,21	0,151	1,176	3,40	20,63	1,67	0,08	1,82	1,79	0,03	5,37	0,23	0,16
21	Jabron_2	0,0828	0,0426	0,7226	0,0226	0,0434	0,0861	6	1,008	0,563	0,784	3,60	29,93	1,51	0,06	2,46	1,70	0,76	8,43	0,06	0,14
22	Jabron_3	0,0139		0,9208	0,0191	0,0044	0,0418	5	0,368	0,228	1,242	11,20	50,04	1,78	0,02	2,07	1,93	0,14	10,10	0,14	0,34
23	Lez_A	0,0238		0,8906	0,0148		0,0708	4	0,442	0,319	0,944	4,14	33,41	1,34	0,00	1,68	1,55	0,14	5,84	0,10	0,49
24	Lez_L	0,0341		0,9161			0,0497	4	0,497	0,359	0,889	3,11	25,24	1,39	0,08	1,55	1,50	0,05	6,12	0,10	0,48
25	Meougue	0,0221		0,9125	0,0387	0,0194	0,0071	5	0,406	0,252	1,204	3,29	57,13	1,40	0,12	1,61	1,43	0,18	5,79	0,06	0,33
26	Ouveze_am	0,0295	0,0036	0,6927	0,0085	0,0506	0,2151	7	0,939	0,482	1,007	7,12	63,72	1,37	0,04	2,92	2,31	0,61	26,86	0,07	0,68
27	Ouveze_av	0,0870		0,7112	0,0401	0,0281	0,1337	6	1,016	0,567	0,775	14,34	85,35	1,46	0,00	3,15	2,15	1,00	26,12	0,06	0,55
28	PetitBuech	0,0150	0,1395	0,7245	0,0544	0,0017	0,0649	6	0,918	0,512	0,874	5,39	40,02	1,52	0,25	2,35	1,77	0,57	10,00	0,05	0,19
29	Romanche	0,0675		0,6946	0,0425		0,1954	4	0,888	0,641	0,498	4,86	35,45	1,52	0,08	3,03	2,48	0,55	17,07	0,15	0,62
30	Sasse	0,2247		0,6065	0,0347	0,0409	0,0933	5	1,107	0,688	0,502	3,92	28,95	1,41	0,06	2,83	1,70	1,13	13,86	0,07	0,26
31	Seveirasse	0,0076		0,8558	0,0036		0,1330	4	0,459	0,331	0,927	7,24	52,49	1,49	0,03	2,00	1,92	0,07	13,75	0,10	0,52
32	Sure	0,0121		0,9443		0,0331	0,0105	4	0,268	0,193	1,118	3,16	26,37	1,33	0,04	1,48	1,36	0,12	4,16	0,12	0,28
33	Tinee	0,0000	0,0633	0,7469			0,1898	4	0,97	0,699	0,417	5,75	41,17	1,62	0,14	2,50	2,22	0,28	13,52	0,54	0,34
34	TrtDeMaraise	0,0055		0,9440	0,0181	0,0089	0,0235	6	0,549	0,306	1,243	3,10	21,50	1,35	0,19	1,42	1,39	0,02	3,54	0,08	0,25
35	Vanson_SS	0,0012		0,9059	0,0349	0,0309	0,0272	5	0,42	0,261	1,19	4,37	31,24	1,43	0,19	1,76	1,54	0,22	7,01	0,12	0,36
36	Var	0,1289		0,5000	0,0230	0,0213	0,3269	6	1,23	0,686	0,562	8,21	77,93	1,46	0,01	5,40	3,83	1,57	71,79	0,33	0,98
37	Veneon	0,0314	0,0773	0,4671	0,1166	0,0336	0,2739	7	1,428	0,734	0,518	10,91	153,32	1,41	0,04	4,28	2,87	1,41	41,42	0,21	0,51
38	Verdon	0,0495		0,4852	0,0241	0,0398	0,4014	5	1,084	0,674	0,525	9,44	75,02	1,39	0,09	4,67	3,60	1,08	77,26	0,29	1,08
39	Arve_dis	0,0117		0,8337		0,0004	0,1542	6	0,605	0,338	1,187	3,87	61,62	1,55	0,05	3,09	2,84	0,24	116,68	0,12	2,50
40	Asse_Blieux	0,1762		0,5203	0,0403	0,2631	0,0000	5	1,191	0,74	0,419	3,67	49,65	1,70	0,01	3,72	1,70	2,02	12,55	0,03	0,21
41	Buech_dis	0,0043		0,9036	0,0159	0,0254	0,0508					6,50	47,59	1,22	0,02	1,60	1,38	0,22	9,80	0,05	0,46
42	Buech_A	0,1796	0,0189	0,5585	0,0237	0,1129	0,1064	5	0,426	0,264	1,184	6,23	50,82	1,55	0,23	3,68	1,90	1,78	27,44	0,04	0,21
43	Eygues_milieu	0,1389		0,5344	0,0306	0,0832	0,2129	7	1,335	0,686	0,611	5,41	50,97	1,45	0,34	3,59	2,27	1,33	41,07	0,08	0,63
44	Eygues_R	0,0303		0,7956	0,0570	0,0020	0,1150	5	1,254	0,779	0,356	3,84	29,63	1,35	0,00	1,98	1,70	0,28	8,20	0,09	0,40
45	Roubion	0,0000			0,0000	1,0000		1								0,11		0,11			
46	Aigue_C	0,1397		0,4909	0,0034	0,0268	0,3392	5	1,107	0,688	0,502			1,48	0,05	5,20	3,55	1,64	281,54	0,44	3,34
47	Bleone_av	0,1692	0,0356	0,3372	0,0420	0,0912	0,3249	6	1,503	0,839	0,289			1,54		7,41	4,11	3,30	84,80	0,15	0,94
48	Drome_Liv	0,0651		0,6471	0,0208	0,0752	0,1919	5	1,051	0,653	0,558			1,64		4,38	2,80	1,58	44,19	0,05	0,46
49	Giffre	0,0361		0,5330	0,0206	0,0300	0,3803	5	1,008	0,626	0,601			1,48	0,00	5,35	4,13	1,22	84,80	0,51	1,69
50	Verdon_dis	0,0204		0,5165	0,1076	0,1498	0,2056							1,49	0,02	2,88	2,08	0,80	24,16	0,15	0,63
51	Bes_Dr	0,0653	0,0123	0,6848	0,0211	0,0786	0,1380	7	1,161	0,597	0,785			1,32		2,66	1,89	0,77			
52	Durance_O	0,0651	0,0035	0,7770	0,0030	0,0675	0,0840	6	0,801	0,447	0,991			1,59		3,31	2,02	1,30			
53	Ubaye																				